

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CULTIVO DE TILÁPIA E USO DE SEU EFLUENTE  
NA FERTIRRIGAÇÃO DE FEIJÃO-VIGNA**

**TESE**

**FRANCISCO JOSÉ DE SEIXAS SANTOS**

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA  
JULHO DE 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**



**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**



**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FRANCISCO JOSÉ DE SEIXAS SANTOS**

**Engenheiro Agrônomo**

**CULTIVO DE TILÁPIA E USO DE SEU EFLUENTE  
NA FERTIRRIGAÇÃO DE FEIJÃO-VIGNA**

**Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem.**

**ORIENTADORES**

**Dr. HANS RAJ GHEYI**

**Dra. ELENISE GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**Campina Grande – Paraíba**

**Julho de 2009**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S237c

2009 Santos, Francisco José de Seixas.

Cultivo de tilápia e uso de seu efluente na fertirrigação de feijão vigna / Francisco José de Seixas Santos. — Campina Grande, 2009.

153 f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elenise Gonçalves de Oliveira.

1. Integração Agricultura - Aquicultura. 2. Feijão - Caupi. 3. Tilapicultura. I. Título.

CDU- 631.67:639.3.04(043)

A meus pais, **CECÍLIA e TETÉ**,  
irmãs, **PATRÍCIA, MAFRISA, CLÁUDIA e ANA**,  
e sogra **BIBI**.

### **MINHA ETERNA GRATIDÃO**

À minha esposa **SOCORRINHA**  
e filhos **NATHAN e ENZO**,  
amores da minha vida.

### **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, pela magnitude de SUA presença.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de concretização dos estudos na área da Engenharia Agrícola e convivência com professores de elevado saber.

À Embrapa, pela minha evolução como profissional e pela possibilidade de inserção no desenvolvimento agrícola do País.

Ao prof. Hans, pela forma de trabalho, pelo conhecimento e principalmente pela amizade desde o primeiro instante que nos conhecemos.

À prof.<sup>a</sup> Elenise, pela orientação e ensinamentos na área de aquicultura e pela grande amizade construída ao longo dos anos.

À banca examinadora composta pelo prof. Pedro Dantas, Dr. Lindbergue, Dr. Aderson e Dra. Patrícia, pela avaliação criteriosa e sugestões para a melhoria do trabalho.

Aos colegas de curso, Betânia, Gilvanise, Roberto e Tarcízio, pelo companheirismo e amizade durante o curso.

Aos colegas da Unidade de Execução de Pesquisa de Parnaíba, da Embrapa Meio-Norte, pela forma dedicada, alegre e espontânea com que ajudaram a concretizar todas as etapas do desenvolvimento do trabalho.

Ao Dr. Raimundo Lima, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, pela grande ajuda nas análises estatísticas dos dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Banco do Nordeste do Brasil, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos que, de uma forma qualquer, tenham contribuído para a concretização do trabalho.

## ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo Geral.....	4
2.2. Objetivos Específicos .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
3.1. Uso múltiplo da água.....	5
3.2. Reuso de água na agricultura.....	9
3.3. Integração agricultura-aquicultura .....	14
3.4. Efluentes da aquicultura .....	22
3.5. Tilapicultura.....	26
3.6. Cultura do feijão-vigna.....	30
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
4.1. Localização da área experimental.....	36
4.2. Cultivo de peixes .....	37
4.2.1. Instalações.....	37
4.2.2. Fatores estudados e delineamento experimental.....	41
4.2.3. Manejo.....	41
4.2.4. Variáveis avaliadas.....	42
4.2.4.1. Desempenho dos peixes.....	42
4.2.4.2. Qualidade da água.....	43
4.3. Cultivo do feijão-vigna.....	44
4.3.1. Área experimental.....	44
4.3.2. Fatores estudados e delineamento experimental.....	45
4.3.3. Cultivar e manejo da cultura.....	46
4.3.4. Irrigação.....	48

4.3.5. Análise da água e do efluente.....	49
4.3.6. Variáveis avaliadas.....	49
4.3.6.1 Análise de crescimento das plantas.....	49
4.3.6.2. Análise de produção da cultura.....	50
4.3.6.3. Análise química do tecido vegetal.....	51
4.3.6.4. Análise química do solo no final do experimento.....	51
4.4. Análise estatística.....	51
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>53</b>
5.1. Qualidade da água de irrigação e do efluente.....	53
5.2. Desenvolvimento do cultivo de tilápia.....	54
5.3. Variáveis limnológicas.....	69
5.3.1. Variáveis físicas.....	69
5.3.2. Variáveis químicas e clorofila <i>a</i> .....	75
5.3.3. Nutrientes.....	91
5.4. Desenvolvimento do cultivo de feijão.....	103
5.4.1. Análise de crescimento das plantas.....	103
5.4.2. Análise da produção da cultura.....	112
5.4.3. Análise química do tecido vegetal.....	115
5.4.4. Análise química do solo no final do experimento.....	117
5.5. Avaliação geral.....	121
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>125</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>126</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados meteorológicos mensais do Município de Parnaíba, PI, obtidos na estação do INMET/UEP-Parnaíba/Embrapa Meio-Norte, ano 2008.	38
Tabela 2. Valores utilizados no manejo alimentar de tilápia nilótica durante o experimento.	42
Tabela 3. Características químicas do solo da área experimental.	45
Tabela 4. Distribuição do nitrogênio (N) e do potássio (K <sub>2</sub> O) durante o ciclo do feijão-caupi. 2008.	46
Tabela 5. Valores médios de cátions e ânions das águas da UEP-Parnaíba e do efluente da tilapicultura.	53
Tabela 6. Caracterização dos nutrientes das águas da UEP-Parnaíba (A <sub>0</sub> ) e do efluente da tilapicultura (A <sub>1</sub> ) durante ciclo de produção do feijão.	54
Tabela 7: Peso médio (g) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	55
Tabela 8: Índices de crescimento absoluto e relativo do peso corporal (g) para a tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	56
Tabela 9: Comprimento total médio (cm) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	58
Tabela 10 Índices de crescimento absoluto e relativo do comprimento total para a tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	58
Tabela 11: Ganho de peso diário médio (g dia <sup>-1</sup> ) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	62
Tabela 12: Taxa de crescimento específico média (% dia <sup>-1</sup> ) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em fração da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	64
Tabela 13: Transparência (cm) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia, 2008.	73
Tabela 14: Teor de oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	78
Tabela 15: Porcentagem de saturação de oxigênio (%) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	81
Tabela 16: Valores de pH nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	83
Tabela 17: Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante	85



140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	
Tabela 18: Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	87
Tabela 19: Teor de $\text{CO}_2$ ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	89
Tabela 20: Teor de amônia ionizada ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	94
Tabela 21: Teor de nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	96
Tabela 22: Teor de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	99
Tabela 23: Teor de ortofosfato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008.	102
Tabela 24: Valores médios dos componentes de produção do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, produção de grãos verdes.	113
Tabela 25: Valores médios dos componentes de produção do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, produção de grãos secos.	114
Tabela 26. Características químicas do solo da área experimental (profundidade 0-20 cm) no início e no final do ciclo de cultivo do feijão-caupi, BRS Guariba.	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema das instalações da piscicultura.	39
Figura 2. Vista geral dos tanques de cultivo de tilápia.	40
Figura 3. Distribuição dos tratamentos na área experimental.	47
Figura 4. Curva de crescimento em peso (g) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	56
Figura 5. Curva de crescimento em comprimento (cm) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	59
Figura 6. Coeficiente angular da relação peso/comprimento (b) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	60
Figura 7. Fator de condição alométrico (K) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	62
Figura 8. Ganho de peso diário (GPD) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	63
Figura 9 Taxa de crescimento específico (TCE) de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	65
Figura 10. Taxa de sobrevivência de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	66
Figura 11. Biomassa líquida final de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	67
Figura 12. Conversão alimentar de tilápia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.	68
Figura 13. Temperatura média (°C) da água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	71
Figura 14. Temperaturas (°C) máxima, média e mínima do ar na UEP-Parnaíba, 2008.	72
Figura 15. Transparência (cm) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	73
Figura 16. Turbidez (NTU) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	75
Figura 17. Turbidez (NTU) na água dos tanques dias 15/08/2008 (A) e 03/09/2008(B) à tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques.	76

Figura 18. Teores de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	77
Figura 19. Porcentagem de saturação de oxigênio (%) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	80
Figura 20. Valores de pH médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	82
Figura 21. Alcalinidade ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	84
Figura 22. Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	86
Figura 23. Teor de gás carbônico ( $\text{mg L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	88
Figura 24. Teor de clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	90
Figura 25. Teores médios de amônia ionizada ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	92
Figura 26. Teor de proteína bruta (%) na ração fornecida aos peixes ao longo do ciclo de cultivo, 2008	92
Figura 27. Teores de nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	95
Figura 28. Teores de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápias, 2008.	98
Figura 29. Teores de ortofosfato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008.	100
Figura 30. Número de folhas por planta em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba.	104
Figura 31. Área foliar (AF) por planta em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba.	104
Figura 32. Matéria seca (MS) vegetal por planta em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi BRS Guariba.	105
Figura 33. Valores de matéria seca (MS) por planta na cultura do feijão-caupi aos 18 DAG (A) e aos 32 DAG (B).	106
Figura 34. Variações da matéria seca (MS), área foliar (AF) e número de folhas (NF) no cultivo do feijão-caupi, BRS Guariba, aos 32 DAG.	107
Figura 35. Índice de área foliar (IAF) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba.	108
Figura 36. Razão de área foliar (RAF) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba..	109
Figura 37. Taxa de crescimento da cultura (TCC) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba.	110
Figura 38. Taxa de crescimento relativo (TCR) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba.	111
Figura 39. Taxa de assimilação líquida (TAL) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba.	112

Figura 40. Valores da taxa de assimilação líquida (TAL) na cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, no intervalo III (entre 32 e 39 DAG).	112
Figura 41. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na matéria seca durante o ciclo da cultura do feijão-caupi, BRS Guariba.	116
Figura 42. Valores de fósforo (P) no solo no final do ciclo da cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba.	120
Figura 43. Valores de potássio (K) no solo no final do ciclo da cultura do feijão-caupi cultivar BRS Guariba.	120

## CULTIVO DE TILÁPIA E USO DE SEU EFLUENTE NA FERTIRRIGAÇÃO DE FEIJÃO-VIGNA

### RESUMO

As atividades de uso da água envolvem complexas interações, em que uma atividade provoca impactos, tanto positivos quanto negativos, nas outras atividades. O manejo de recursos hídricos dentro do conceito de uso múltiplo objetiva uma exploração concomitante e integrada, na qual as relações entre os produtos gerados sejam complementares. A concepção de sistemas integrados agricultura-aquicultura tem sido sucessivamente redefinida para acomodar uma gama de modelos e sistemas aplicativos. Em vários países, a integração agricultura-aquicultura vem-se desenvolvendo plenamente há vários anos e com muitos modelos. No Brasil, esses sistemas integrados de produção são recentes, necessitando de pesquisas para definição da melhor forma de exploração. O objetivo do trabalho foi desenvolver e difundir o uso múltiplo dos recursos hídricos do Nordeste, por meio do aproveitamento da água de piscicultura na fertirrigação de culturas agrícolas. O trabalho foi desenvolvido na UEP-Parnaíba, pertencente à Embrapa Meio-Norte. Na parte referente à criação de peixes, a espécie trabalhada foi a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), linhagem Chitralada, e a cultura vegetal foi o feijão-vigna (feijão-caupi ou feijão-de-corda), *Vigna unguiculata* (L.) Walp, cultivar BRS Guariba. No experimento com tilápia, foram dois os fatores estudados: densidades de estocagem (28 peixes m<sup>-3</sup>-D1 e 56 peixes m<sup>-3</sup>-D2) e taxa de renovação diária da água (200 %-V1, 400 %-V2, 600 %-V3 e 800 %-V4). Os peixes foram cultivados em tanques com 3 m<sup>3</sup> e ciclo de 140 dias. No experimento com feijão-caupi, foram estudados dois tipos de água utilizados na irrigação (A0-água do sistema de irrigação da UEP-Parnaíba e A1-efluente da piscicultura), combinados com quatro doses de fertilizantes químicos (F1-100 % da adubação, F2-66 % da adubação, F3-33 % da adubação e F4-0 %). O sistema de produção integrado agricultura-aquicultura com o cultivo de feijão-caupi e tilápia do Nilo otimiza a utilização dos recursos hídricos e a exploração agrícola, com a obtenção de duas produções a partir do uso compartilhado da água. A melhor produção de peixes é obtida no tratamento da densidade de 56 peixes m<sup>-3</sup>, com renovação diária de água de 400 %, que produziu também os maiores teores de nutrientes no efluente. Os índices de crescimento e os

componentes de produção da cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, não sofrem alteração em razão das doses da adubação química e da utilização do efluente da tilapicultura.

Palavras-chave: integração agricultura-aquicultura, uso múltiplo da água, biofertilização, feijão-caupi.

## **TILAPIA CULTURE AND USE OF ITS EFFLUENT IN THE FERTIGATION OF COWPEA**

### **ABSTRACT**

The activities of water use involve complex interactions, where an activity causes impacts, both positive and negative, in other activities. The management of water resources within the concept of multiple use has the objective of concurrent and integrated exploitation, in which relations between the products generated are complementary. The concept of integrated agriculture-aquaculture has been successively redefined to accommodate a range of models and systems applications. In several countries, the integrated agriculture-aquaculture is being developed fully for several years and with many models. In Brazil, these integrated production systems are recent and require research to determine the best form of exploitation. The objective of this study was to develop and disseminate the multiple use of water resources in the Northeast, through the use of water for fish farming in fertigation of crops. The study was conducted at UEP-Parnaíba, Embrapa Meio-Norte. The part regarding the fish culture, species worked was Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Chitralada, and the crop grown was cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), BRS Guariba. In the experiment with tilapia, two factors were studied: stocking density (28 fish m<sup>-3</sup>-D1 and 56 fish m<sup>-3</sup>-D2) and daily renewal rate of water (200 %-V1, 400 %-V2, 600 %-V3 and 800 %-V4). The fish were reared in tanks with 3 m<sup>3</sup> and cycle of 140 days. In the experiment with cowpea two types of water were used for irrigation (A0- irrigation water of the UEP-A1-Parnaíba and effluent from fish culture), combined with four doses of chemical fertilizers (F1-100 % fertilization, F2-66 % fertilization, F3-33 % fertilization and F4-0 %). The integrated agriculture-aquaculture production system with cowpea cultivation and Nile tilapia fish optimizes the use of water resources and agricultural, exploitation with the acquisition of two productions from the water sharing. The best fish production was obtained in the treatment of the 56 fish m<sup>-3</sup> density, with daily water renewal rate of 400 %, which also produced the highest levels of nutrients in the effluent. The indices of growth and yield components of the cowpea, BRS Guariba, crop did not change because of the doses of chemical fertilization and the use of effluent from tilapia.

Key words: integrated agriculture-aquaculture, multiple use of water, biofertilization, cowpea.

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo de recursos hídricos dentro do conceito de uso múltiplo objetiva uma exploração concomitante e integrada, na qual as relações entre os produtos gerados sejam complementares ou no mínimo suplementares. As atividades de uso da água envolvem complexas interações, em que uma atividade provoca impactos tanto positivos quanto negativos nas outras atividades.

A água, além de ser um requisito essencial para a sobrevivência humana, apresenta três funções ambientais básicas: 1) fornece insumo ao sistema produtivo; 2) assimila resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica; 3) provê utilidades estéticas e de lazer. A utilização sustentável da água é o principal objetivo da gestão dos recursos hídricos (PEARCE e WARFORD, 1993; UNEP, 2009). Dados da ANA (2005) mostram que o Brasil é rico em disponibilidade hídrica, mas apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões e em algumas regiões ocorre uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos, apresentando situações de escassez e estresse hídrico, havendo necessidade de intensas atividades de planejamento e gestão de recursos hídricos.

A Lei Federal nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, apresenta como um dos seus fundamentos o uso múltiplo dos recursos hídricos. Para sua implementação, são necessárias ações de gestão sistemática da qualidade e quantidade de água, de interações sócio-econômico-culturais, gestão ambiental e articulações de uso do solo. Surge, assim, o gerenciamento dos recursos hídricos, como um meio de assegurar a utilização múltipla e integrada da água, bem como os programas de reutilização da água para a efetiva concretização dos objetivos da lei.

Os papéis fundamentais que se colocam para a agricultura irrigada, como provedora de alimentos e filtro de águas residuárias, precisam ser melhor percebidos e entendidos pela



sociedade como um todo, que atualmente, por falta de informação, acusa a agricultura de maior consumidora de água. Estudar essa percepção da população é etapa fundamental na implantação de programas de uso múltiplo e de reuso de água (GENERINO, 2006; SCHMIDT, 2007).

A integração agricultura-aquicultura é outra estratégia racional de utilização sustentável dos recursos hídricos. Conforme Zimmermann e Fitzsimmons (2004) o uso múltiplo de águas para a irrigação de cultivos agrícolas e para a piscicultura, com reciclagem de nutrientes, aumenta a eficiência produtiva no meio rural, sendo desejável sua aplicação em regiões áridas e semiáridas por razões ambientais, sociopolíticas e econômicas. Para Gooley e Gavine (2003a), o uso múltiplo da água significa que a exploração é mais eficiente em termos do valor da produção por unidade de água utilizada.

A utilização de sistemas integrados agricultura-aquicultura se enquadra perfeitamente no perfil de pequenas e médias propriedades (AHMED e BIMBAO, 2003; NOBLE e LIGHFOOT, 2003; WORBY, 2003). Esse sistema provoca baixos impactos ambientais, em cujas regiões tropicais os efluentes e lodos gerados pela piscicultura normalmente aumentam a produtividade das águas e solos, evitando também o processo de eutrofização (PULLIN, 2003).

A cultura do feijão-vigna (feijão-caupi, feijão-de-corda, feijão-macáçar ou feijão-macassar), *Vigna unguiculata* (L.) Walp., é explorada principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil por pequenos agricultores familiares e com baixa lucratividade. Para Rocha et al. (2006) essa cultura é a principal fonte de proteína nas regiões citadas, sendo bastante versátil em termo de mercado, podendo ser comercializado na forma de grãos secos, grãos ou vagens verdes, farinha para acarajé e sementes. Em estudo realizado por Nicoli et al. (2006) em propriedades rurais tradicionalmente produtoras de feijão-caupi no Pará, foi retratada a busca dos produtores da agricultura familiar por inovações tecnológicas. Freire Filho e Ribeiro (2005) relatam que a cultura, nos últimos anos, vem adquirindo maior expressão econômica, com a entrada de médios e grandes produtores na cadeia produtiva utilizando alta tecnologia. Essas mudanças vêm gerando demandas em várias áreas de conhecimento da cultura.

A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) está difundida por todas as regiões do Brasil. É a segunda espécie de peixe mais cultivada no mundo, e isso se deve, entre outros aspectos, à sua precocidade e facilidade de reprodução; à facilidade de obtenção de alevinos; à possibilidade de manipulação hormonal do sexo para obtenção de populações masculinas; à boa aceitação de diversos tipos de alimentos; ao bom crescimento em criação intensiva; à sua rusticidade,

suportando o manuseio intensivo e baixos índices de oxigênio dissolvido; à resistência a doenças; à carne branca de textura firme, sem espinhos, de sabor pouco acentuado e de boa aceitação no mercado (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

Lovshin (2000) considera que, para o cultivo de tilápia no Brasil, as regiões com maior potencial de desenvolvimento são o Nordeste e o Centro-Oeste. Trabalhos técnico-científicos mostram o potencial de desenvolvimento da tilapicultura no Nordeste (BARBOSA et al., 2000; CARNEIRO et al., 2000; COSTA et al., 2000; CONCEIÇÃO, 2008).

Para um crescimento sustentável da agricultura irrigada no Nordeste brasileiro, é fundamental uma melhoria da eficiência do uso dos recursos hídricos por meio de estudos de uso múltiplo da água para geração concomitante de vários produtos agrícolas. A integração da produção do feijão-caupi irrigado com o cultivo de tilápias apresenta-se como uma alternativa viável de exploração dentro da agricultura nordestina, sendo necessários trabalhos de pesquisa capazes de encontrar soluções e alternativas para esse sistema de produção.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar o efeito dos efluentes da tilapicultura sobre o cultivo do feijão-vigna em um sistema de integração agricultura-aquicultura.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar a melhor densidade de estocagem e taxa de renovação de água sobre o desempenho da tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), linhagem chitralada, cultivada em um sistema de integração agricultura-aquicultura.
- Determinar o perfil limnológico da água de cultivo e dos seus efluentes para utilização na fertirrigação.
- Avaliar o desenvolvimento e a produção da cultura do feijão-vigna, mediante irrigação com efluentes de tanques de cultivo de tilápia nilótica e água convencional.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Uso múltiplo da água**

Entre 1950 e os dias atuais, a população mundial aumentou de 2,5 para 6,5 bilhões de pessoas. Nesse período, a área irrigada duplicou e as retiradas de água triplicaram (FAO, s.d.). Hoje, a agricultura é de longe a maior consumidora respondendo por cerca de 70 % a 85 % de todas as retiradas de água doce procedente de lagos, cursos de água e aquíferos (GARCES-RESTREPO et al., 2007).

Na atualidade, a escassez de água já afeta cerca de 40 % dos habitantes do planeta (FAO, 2007a) e com o crescimento da população, cuja previsão é atingir 8,1 bilhões de pessoas em 2030 (BROWN, 2005), mais água será necessária para produzir alimento (50 % a mais do que se tinha em 1998), para saneamento básico, produção de energia, indústrias e outras atividades. Dessa forma, os prognósticos são de que, até o ano de 2025, 60 % da população viverá em países ou regiões com uma drástica falta de água e dois terços da população podem enfrentar a escassez desse elemento (UN-WATER, 2006). Também é esperado um aumento da competição de água doce para uso agrícola, doméstico e industrial, aumentando assim a tensão entre os usuários (UN-WATER, 2006; UN-WATER, 2007).

A América Latina parece viver uma condição confortável em relação a outras regiões do planeta, uma vez que hospeda menos de 10 % da população mundial e apresenta abundantes recursos hídricos, com dotações de água de  $28.000 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , muito superior à média mundial, que é de  $7.000 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Essas cifras seriam animadoras se não fossem as condições de escassez de água por que passam as áreas mais populosas da região, entre as quais a Região Nordeste do Brasil, a Região Norte do Chile, o Chaco Paraguai, o Altiplano da Bolívia e Peru e a Costa do Peru (FAO, 2000; VIEIRA e WAMBEKE, 2002).

Em geral, a escassez de água é definida como sendo o ponto em que o impacto de todos os usuários afeta o fornecimento ou a qualidade de água no âmbito das disposições institucionais vigentes e a procura de todos os setores, incluindo o meio ambiente, não pode ser plenamente satisfeita. A escassez tem várias causas e consequências: nas zonas áridas e semiáridas, pode surgir em decorrência de secas e ampla variabilidade climática, combinada com elevado crescimento populacional e desenvolvimento econômico. A escassez afeta todos os setores sociais e econômicos e ameaça a sustentabilidade dos recursos naturais básicos. Nesse contexto, a agricultura irrigada é o primeiro setor a ser afetado, resultando em uma diminuição da capacidade de manter a produção per capita de alimento (UN-WATER, 2007).

Segundo UN-Water (op. cit.), para que as necessidades continuem sendo supridas nas regiões afetadas pela escassez de água, os esforços deverão incidir sobre o uso eficiente de todas as fontes de água (águas subterrâneas, superficiais e de chuvas) e devem ser adotadas estratégias que maximizem o retorno econômico e social da alocação desse recurso.

No Brasil, o conceito de uso eficiente da água foi instituído com o advento da Lei 9.433, de 1997. A lei estabeleceu o princípio dos usos múltiplos como uma das bases da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), passando os diferentes setores usuários de água a ter igualdade no direito de acesso a esse bem. A única exceção é que, em situações de escassez, a prioridade de uso da água é o abastecimento público e a dessedentação de animais, ficando os demais usos (geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento industrial, turismo e lazer, etc.) sem ordem de prioridade definida.

A delimitação dos direitos da água é ainda mais complicada quando são levados em consideração os usos múltiplos (irrigação, doméstico, pesca, pecuária, indústrias, etc.), bem como os vários usuários (diferentes cidades, grupos de agricultores nas regiões alta e baixa da bacia, pescadores, criadores, etc.) do recurso. Essas sobreposições são colocadas para diferentes conjuntos de normas e regras relacionadas com a água e para diferentes agências governamentais (MEINZEN-DICK e BAKKER, 2000).

Na prática, o uso múltiplo está longe de ser unanimidade entre os usuários (BASTOS e MARQUES, 2003; PORTO e PORTO, 2008; ANA, 2009) e os conflitos se acirram à medida em que aumenta a demanda e a escassez de água (UN-WATER, 2007).

No Brasil, os conflitos por que passa o setor hídrico têm origem em causas que ultrapassam os limites da disponibilidade e da priorização dos usos. Esse fato pode ser comprovado em

estudos de Bezerra e Munhoz (2000), que relacionam os seguintes problemas vivenciados por esse setor: dados e informações insuficientes ou não acessíveis para se promover uma adequada avaliação dos recursos hídricos; inexistência de práticas efetivas de gestão de usos múltiplos e integrados dos recursos hídricos; base legal insuficiente para assegurar a gestão descentralizada; manejo inadequado do solo na agricultura; distribuição injusta dos custos sociais associados ao uso intensivo da água; participação incipiente da sociedade na gestão, com excessiva dependência das ações de governos; escassez de água, natural ou causada pelo uso intensivo do recurso hídrico; disseminação de uma cultura da abundância dos recursos hídricos; ocorrência de enchentes periódicas nos grandes centros urbanos brasileiros.

Um balanço hídrico entre diferentes usuários de água demonstra que, para produzir alimentos que atendam às necessidades de uma pessoa em um dia, são necessários entre 2.000 e 3.000 L de água. Em contraste, 2 a 3 L de água são requeridos para beber e 20 a 300 L para suprir as necessidades domésticas (UN-WATER, 2007). Diante disso, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação é taxativa ao dizer que, pelo fato de a agricultura ser o maior usuário de recursos hídricos e primordial para a segurança alimentar e redução da pobreza, deve assumir a liderança em encontrar alternativas para produzir mais alimento com menos água e de reduzir os danos potenciais causados ao ambiente (FAO, 2007a).

Entre as alternativas apontadas para uma maior eficiência da água, está uma melhor gestão dos recursos hídricos, mediante a integração e otimização dos usos múltiplos (CIRILO, 2008; HESPANHOL, 2008; TUNDISI, 2008). Nesse modelo de gerenciamento, conforme Leon e Cavallini (1999), a oferta de água provém, geralmente, de um sistema comum – a bacia hidrográfica – e os excedentes de uso e os efluentes voltam a se integrar ao sistema. Assim, os recursos hídricos são otimizados, mediante o consumo racional e aceitável, devendo essa gestão maximizar, com critério de equidade, os benefícios econômicos, sociais e ambientais. Essa prerrogativa é corroborada por Bastos e Marques (2003) ao afirmarem que a gestão compartilhada inclui necessariamente disciplina de uso, preservação da qualidade da água, controle de perdas e desperdícios e reciclagem.

O uso compartilhado, segundo Meinzen-Dick e van der Hoek (2001), é uma prática que já vem sendo adotada em alguns sistemas de irrigação, embora os recursos hídricos sejam avaliados e geridos como se existissem apenas para a produção de culturas agrícolas. Na opinião desses autores, o reconhecimento dos múltiplos usos da água é fundamental para uma melhor política de

distribuição dos recursos hídricos. Em primeiro lugar, porque o valor da água em sistemas de irrigação tem sido subestimado em razão de uma incapacidade de reconhecer suas muitas utilizações. Uma avaliação mais rigorosa, que inclua todas as utilizações, será imprescindível para uma tomada de decisão sobre a alocação de água (e de recursos financeiros) entre a irrigação e os outros usos. Em segundo lugar, a escolha de sistemas de irrigação que levem em conta a utilização de todas as formas de recursos hídricos, tornando a atividade mais produtiva e ecologicamente mais sustentável. Além disso, o reconhecimento do uso múltiplo da água e a gestão dos recursos hídricos, dentro de um contexto econômico e institucional, propiciam análises mais complexas uma vez que muitas das interações entre usos são afetadas tanto pela qualidade da água, quanto pela quantidade.

Para Brooks et al. (1991), a utilização da água deve ser definida antes que se possa discutir a sua qualidade. Um padrão de qualidade da água baseia-se nas características físicas, químicas ou biológicas em referência a uma determinada utilização. Por exemplo, normas de qualidade da água para irrigação não devem ser necessariamente aceitáveis para a água potável. Além disso, algumas alterações da qualidade da água, em razão de atividades na bacia hidrográfica, podem tornar a água inutilizável para consumo humano, mas aceitável para a pesca, irrigação ou outras aplicações.

No capítulo água doce da Agenda 21, foi definida a gestão integrada dos recursos hídricos como um processo baseado na água como uma parte integrante do ecossistema, um recurso natural e social e um bem econômico, cuja quantidade e qualidade determinam a natureza da sua utilização. Também foi incluída a necessidade de integrar os programas de diferentes setores de utilização da água em políticas sociais e econômicas em escala nacional (UNEP, 2009)

Porto e Porto (2008) concordam que a questão central da gestão deve reger a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. Hespanhol (2008) também alerta que, especialmente na área urbana, a gestão de recursos hídricos deve abandonar princípios ortodoxos ultrapassados, de forma que um novo paradigma, baseado nas palavras-chave conservação e reuso de água, deve evoluir para minimizar os custos e os impactos ambientais associados a novos projetos. A conservação deve ser promovida por meio de programas de gestão adequados de demanda e educação ambiental e o reuso direcionado à gestão da oferta, buscando fontes alternativas de suprimento, incluindo água recuperada, águas pluviais e água subterrânea, complementadas mediante a recarga artificial de aquíferos.

Implantar modelos que atendam aos preceitos de uso múltiplo exige uma série de decisões e investimentos. Segundo Cirilo (2008), em muitas regiões semiáridas do mundo, governos já vêm atuando com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação.

De acordo com Lanna (2004), os custos com investimentos necessários à implantação de sistemas de uso compartilhado dos recursos hídricos diminuem com a dimensão total do projeto. Isso faz que seja mais vantajosa a construção de um projeto que atenda a vários usos do que construir vários projetos isolados que atendam a usos singulares. Acrescente-se a isso o fato de que o compartilhamento proporciona maior produtividade do sistema, possibilita maior diluição dos custos fixos e maior “poder de barganha” para a aquisição de grandes quantidades de insumos.

Embora seja patente que os modelos que primam pelo uso múltiplo dos recursos hídricos sejam complexos, nas atuais e futuras circunstâncias, conforme ressaltado pela UN-Water (2007), promover o desenvolvimento sustentável de uso da água em benefício de todos é uma responsabilidade coletiva e um desafio. Esse modelo apela para uma ação coordenada no seio do sistema das Nações Unidas e com outros parceiros e intervenientes (incluindo as organizações dos setores público e privado e sociedade civil) como parte de uma abordagem global. Para Tundisi (2008), essa flexibilidade da alocação da água para os diferentes usuários é uma das formas mais relevantes de desenvolvimento econômico e social, pois melhora a qualidade de vida, promove a geração de empregos e renda, amplia a capacidade de abastecimento de água para usos múltiplos e estimula a economia.

No setor agrícola, o uso eficiente das águas é a chave para melhorar a segurança alimentar e a redução da pobreza especialmente nas zonas rurais, que são o lar de três quartos das pessoas famintas do mundo (FAO, 2007a). Implementar esse tipo de gestão exige pesquisas intersetorial e multidisciplinar para manejar os recursos hídricos, de forma a maximizar a economia e o bem-estar social de uma maneira que não comprometa a sustentabilidade dos ecossistemas (UN-WATER, 2007).

### **3.2. Reuso de água na agricultura**



A água, por meio do ciclo hidrológico, constitui-se em um recurso renovável e quando reciclada por sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro (HESPANHOL, 2005). Entretanto, o emprego da água em atividades antrópicas leva à sua deterioração em níveis diferentes de poluição. Essa poluição é considerada como a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos (VON SPERLING, 1996).

Uma vez que a água já serviu a um fim específico e teve a sua qualidade alterada, ela passa a ser considerada de qualidade inferior. Outras terminologias são encontradas na literatura para designar essas águas, entre as quais, águas servidas, águas residuárias, águas de descargas e efluentes (ZANIBONI FILHO, 1997; LEÓN e CAVALLINI, 1999; SOARES et al., 2005). O emprego dessas águas, com ou sem tratamento prévio, passa a se chamar reuso de águas ou uso de águas servidas (LEÓN e CAVALLINI, 1999; ONGLEY, 2001).

Uma gama muito grande de águas de qualidade inferior podem ser encontradas. Entre essas, as provenientes de esgotos de origem doméstica, efluentes de sistemas de tratamento de água, efluentes industriais, águas de drenagem agrícola, águas salobras (HESPANHOL, 2008), efluente de lodo de esgoto (com mais de 95 % de água), dejetos líquidos de animais, efluentes do processamento de produtos vegetais, efluentes da indústria de celulose e papel e águas ferruginosas (SOARES et al., 2005). O uso de tecnologias apropriadas para o aproveitamento dessas fontes se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e a gestão da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2008).

Para a agricultura moderna que depende de grandes volumes de água, mas que não poderá ser mantida sustentavelmente se continuarem os atuais padrões de utilização (ANDREOLI et al., 2005), a solução poderá advir do uso dessas águas servidas, em substituição às fontes de água doce convencionais (HAMDY, 2001; KARAJEH e HAMDY, 2001). Esse fato é vultoso em regiões áridas e semiáridas, onde a água se tornou um fator limitante principalmente para a agricultura e desenvolvimento industrial (HAMDY, 2001; KARAJEH e HAMDY, 2001).

Corroborando essas observações, Felizatto et al. (2003) relatam que a limitação dos recursos hídricos e o crescimento explosivo das grandes cidades na América Latina levaram a priorizar o uso das águas superficiais para abastecimento público e geração de energia elétrica. Diante disso, a atividade agrícola assentada ao redor das grandes cidades, os chamados "cinturões

verdes", foi seriamente afetada e os produtores, por uma questão de sobrevivência, passaram a fazer uso indireto ou direto de águas residuárias, como única alternativa de irrigação. Folegatti et al. (2005) reportam que o uso de água reciclada para fins agrícolas próximo a áreas urbanas pode ser atrativo, pois assim os irrigantes visam receber grandes quantidades de água reciclada em vez de água pura de fontes convencionais.

Nesse contexto, a água poderá ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como, decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2005).

De uma maneira geral, conforme enfatiza Sampaio et al. (2005), na implementação do reuso de água em alguma atividade produtiva, devem ser considerados quatro pontos fundamentais: economia, legislação, meio ambiente e técnica. Assim, o reuso tem como fator limitante os custos de sua implantação, pautado em uma menor degradação dos recursos hídricos, seguindo-se de legislações específicas e utilizando-se técnicas de engenharia nas áreas de hidráulica, saneamento, solo, planta, entre outras.

Conforme Bastos et al. (2003a), a irrigação com esgoto sanitário é praticada tanto nos países industrializados, quanto nos chamados países em desenvolvimento, mas em vários desses países a prática é regulamentada por legislação específica e faz parte de programas governamentais de irrigação e gestão de recursos hídricos, como no caso de Israel e México. Destaca-se o exemplo de Israel, onde, por volta de 2010, estima-se que os esgotos sanitários tratados responderão por quase 30 % de toda a água disponibilizada para a agricultura. Na Alemanha, um complexo de lagoas construído entre 1926 e 1929 como sistema integrado de tratamento de esgotos e piscicultura encontra-se ainda em plena operação. Na América Latina, a experiência mais notável é a de Lima, Peru, onde, desde 1983, o Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS) desenvolve pesquisas com piscicultura no complexo de lagoas de estabilização de San Juan de Miraflores.

Para Leon e Cavallini (1999), a irrigação com águas residuárias está aumentando em virtude de fatores tais como: disponibilidade permanente de água; aporte de grande quantidade de

nutrientes; aumento do rendimento dos cultivos; melhoria da qualidade da estrutura do solo; ampliação da fronteira agrícola. Os autores salientam ainda que, nas áreas agrícolas próximas aos centros urbanos, além de as águas residuárias abastecerem os sistemas de produção de alimentos, também contribuem para a recarga de aquífero e para manter a precipitação em níveis mais ou menos estáveis.

Jimenez (2005) também vislumbra vantagens no emprego de águas residuárias, entre as quais: manter a produção agrícola constante ao longo do ano; evitar a descarga de contaminantes nos corpos de água superficiais, que são ecossistemas mais frágeis e possuem menor capacidade de tratamento; incrementar a eficiência econômica dos sistemas de tratamento; conservar recursos hídricos de melhor qualidade para fins nobres; reduzir custo com bombeamento de água uma vez que o bombeamento de água residual para as áreas de cultivo é menor que o de água subterrânea; melhorar as condições econômicas de uma região pela produção de cultivos de maior rentabilidade.

Segundo Loudon (2001), a taxa de aplicação de águas residuárias deve ser baseada na capacidade do solo e da cultura em remover os nutrientes dessas águas. Em longo prazo, a sustentabilidade exige aplicação de nutrientes a taxas agronômicas, de modo que não se acumulem no solo, nem ocorra lixiviação para as águas subterrâneas ou descarga para as águas superficiais. As taxas de aplicações de águas residuárias podem ter por base o nitrogênio e o fósforo exigidos pela cultura agrícola ou as necessidades hídricas, dependendo da concentração de nutrientes na água residuária.

O esgoto sanitário pode apresentar teores de macronutrientes suficientes para atender à demanda da maioria das culturas agrícolas, no entanto, há necessidade de um adequado manejo agronômico. Nutrientes em excesso, especialmente o nitrogênio, podem comprometer a produtividade e a qualidade das culturas e resultar em problemas ambientais, principalmente a lixiviação de nitratos e a contaminação do lençol freático (BASTOS et al., 2003a).

Marques et al. (2003a) reportam que a irrigação com esgotos sanitários é uma forma de fertirrigação com água salina e os cuidados necessários a essa prática devem ser observados. Entretanto, o manejo necessário, em essência, não difere do manejo requerido na irrigação convencional, ou seja: compatibilização entre a qualidade da água, a técnica de irrigação empregada, as características do solo e a adequada seleção de culturas. O fornecimento de nutrientes se dá de forma contínua e gradual. Também pode ser gradual a disponibilidade dos

nutrientes, dependendo da forma como o efluente é aplicado ao solo. Em outras palavras, o controle do balanço de nutrientes é mais difícil que na irrigação e fertirrigação convencional.

Mendonça et al. (2003) estabelecem que o primeiro passo para um projeto de irrigação com efluentes é a definição de prioridades e, conseqüentemente, a intensidade de aplicação de efluente ao solo. Citando o exemplo de esgoto sanitário, os autores dizem que, ao considerar esse tipo de água servida como um insumo agrícola, naturalmente se deve priorizar o atendimento às necessidades das culturas e a sustentabilidade das atividades agrícolas. Também salientam que a intensidade de aplicação dependerá da deficiência hídrica do sistema solo-planta-atmosfera.

Sousa et al. (2005), relatando o desempenho de três sistemas de pós-tratamento de efluente anaeróbio, *wetland*, leito de brita não vegetado e lagoas de polimento, operados com o objetivo de produzir efluentes para reuso na agricultura, verificaram que a quantidade de macro e micronutrientes contida nos três efluentes é suficiente para a maioria das culturas vegetais produzidas na região semiárida do Nordeste do Brasil.

De acordo com FAO/RNE (2003), a aplicação de fertilizantes de forma empírica está associada a muitas limitações, que levam ao baixo aproveitamento dos fertilizantes pela cultura vegetal. De uma forma geral, a adubação empírica baseia-se na experiência do agricultor e em recomendações gerais. A abordagem científica leva em consideração a nutrição vegetal, a fertilidade do solo, o teor de nutrientes das águas residuárias, o rendimento a ser obtido e também proporciona a cada produtor informações confiáveis no que diz respeito às necessidades de adubação da sua área de cultivo.

Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de esgotos adequadamente administrados. Na Índia, resultados experimentais mostram os efeitos positivos da irrigação com esgotos na produção de algodão, arroz, batata, feijão e trigo (HESPANHOL, 2002). No entanto, para Fonseca (2001), não é recomendável importar dados de pesquisas do exterior com efluentes de esgoto tratado, cujas condições edafoclimáticas são completamente diferentes da situação brasileira. O autor afirma também que são necessários estudos de campo, de longa duração, para avaliar o comportamento do sistema solo-planta-efluente, bem como o monitoramento de  $\text{N-NO}_3^-$ , Na e metais pesados.

Bernardi (2003) salienta que no Brasil já existem várias iniciativas de reuso não potável de água, como no setor industrial, além da prática inconsciente (reuso não planejado) em outros setores, como no setor agrícola. Porém, apesar de não existir no Brasil uma legislação específica

tratando do tema de reuso de água, nota-se que a própria legislação da Política Nacional de Recursos Hídricos cria fundamentos jurídicos e condicionantes legais para sua adoção.

### **3.3. Integração agricultura-aquicultura**

A agricultura moderna é definida como uma forma altamente eficaz de oferecer, em quantidades cada vez maiores, os produtos dos ecossistemas para os quais há um mercado: culturas, pecuária, pesca e produtos florestais (FAO, 2007b). Já a aquicultura representa a criação de organismos com habitat predominantemente aquático, incluindo peixes, moluscos, crustáceos, anfíbios, répteis e plantas aquáticas. Como tal, ela implica a intervenção do homem no processo de criação, em operações como reprodução, estocagem, alimentação, proteção contra predadores, etc., visando aumentar a sua produção (RANA, 1997). Na forma mais ampla, o termo agricultura inclui a produção animal, o manejo de recursos pesqueiros, incluindo a aquicultura, e o recurso florestal (FAO, 2003).

A produção agrícola mundial até 1999 apresentou uma taxa de crescimento anual de 2,1 % e, a partir de então, tem apresentado uma desaceleração com taxa anual de 1,5 %, sendo projetado para 2030 um crescimento apenas de 1,4 % ao ano. A projeção para 2030 é que 64 % da produção mundial dos principais cereais venham de áreas irrigadas (BRUINSMA, 2003).

Dentro do segmento de produtos de origem animal, a aquicultura é o setor que mais vem crescendo em todo o mundo (FAO, 2009a). A contribuição da aquicultura para a oferta mundial de pescado, crustáceos, moluscos e outros animais aquáticos tem seguidamente aumentado, passando de 3,9 % da produção total em peso em 1970 para 36,0 %, em 2006. No mesmo período, o crescimento da produção aquícola foi mais rápido do que o crescimento da população e assim o consumo per capita aumentou de 0,7 kg em 1970 para 7,8 kg em 2006, representando um crescimento médio anual de 7,0 %. A contribuição de produtos cultivados ao comércio internacional tem sido incrementada de forma significativa e as atuais taxas de crescimento anual das exportações de tilápia excedem a 50 %. O cálculo da produção mundial de alimentos a partir da aquicultura no ano de 2005 mostra que o percentual de tilápia corresponde a 9,5 % do total (FAO, 2009b).

O crescimento das duas atividades, embora seja essencial para a segurança alimentar (ONGLEY, 2001; CUNNINGHAM, 2005), causa preocupação em razão da grande demanda de

água e impactos ambientais gerados (POLLOCK, 2005; OLIVEIRA e COSTA, 2005). A grande demanda de água pode ser comprovada em dados apresentados pela FAO (2007a), os quais demonstram que a agricultura, incluindo nesse contexto a aquicultura e outras atividades agropecuárias, é a atividade que mais demanda água, atingindo percentuais de consumo de 87,6 % no Oriente, 84,1 % na África, 81,3 % na Ásia e Pacífico e 70,7 % na América Latina. Apenas na América do Norte e Europa, o consumo de água pela agricultura (38,7 % e 32,4 %, respectivamente) é suplantado pela indústria, que demanda volumes da ordem de 48,0 % e 52,4 % respectivamente.

Diante dessa realidade, viabilizar a continuação da agricultura, e dentro dela a aquicultura, exige a racionalização de recursos, surgindo daí a proposta de sistemas integrados de produção (GOOLEY, 2000; GOOLEY e GAVINE, 2002; KUMAR, 2002). Acompanhando essa linha de raciocínio, Warburton e Pillai-McGarry (2002) esclarecem que os biossistemas integrados permitem o estabelecimento de ligações funcionais entre a agricultura, a aquicultura, a transformação de alimentos, a gestão de resíduos, a utilização da água e a geração de combustível. Eles também incentivam a dinâmica dos fluxos de materiais e energia por meio do tratamento dos resíduos e subprodutos de uma atividade para uso como insumo em outra. Dessa forma, alimentos para o consumo humano, fertilizantes, alimentos para animais e combustível podem ser produzidos com o mínimo de entrada de nutrientes, água e outros recursos.

Foo (2002) afirma que a abordagem holística para utilização de um recurso não é um conceito inteiramente novo ou uma nova prática. Achados de pintura no antigo Egito indicam que cerca de 2000 a.C, já havia aproveitamento de águas de uma lagoa com cultivo aquícola para produção de flores, legumes e frutas. O México e a China também têm desenvolvido sistemas de agricultura integrada que são únicos para as suas regiões. Yang et al. (2003) afirmam que na China documentos escritos entre o primeiro e o segundo século a.C. mostram a integração da cultura de plantas aquáticas e peixes. Os autores encerram dizendo que o que há de inovação na abordagem atual é a incorporação de novas tecnologias e uma melhor compreensão dos fluxos de material e nutrientes nos biossistemas integrados.

A concepção de sistemas integrados agricultura-aquicultura, embora não seja recente, tem sido sucessivamente redefinida para acomodar uma gama de modelos e sistemas aplicativos. Em termos gerais, essas definições procuram uma ligação da aquicultura com outros sistemas produtivos. Tais sistemas normalmente incorporaram a utilização integrada dos recursos naturais,

incluindo terra, água e nutrientes, bem como infraestrutura de capital, incluindo lagoas, canais, tubulações e bombas, etc. Em se tratando de integração agricultura-aquicultura, o principal benefício econômico é claramente a produção e a comercialização de produtos aquícolas, sem qualquer aumento no consumo de água. Paralelamente, ocorre o aproveitamento de efluentes aquícolas, ricos em nutrientes, para a irrigação. Desse modo, a água efluente da aquicultura é direcionada para o sistema agrícola, promovendo redução dos custos operacionais na propriedade (GOOLEY e GAVINE, 2002). Pode-se acrescentar a isso, o incremento de empregos, melhor alimentação para as comunidades e interação sinérgica entre cultivos de vegetais e peixes (GASCA-LEYVA, 2000).

As observações de Kumar (2002) e Chaves e Silva (2006) reforçam essas afirmativas. Para Kumar (op. cit), a agricultura integrada tem melhorado significativamente a produção agrícola e a sustentabilidade em muitas partes do mundo. Isso ocorre porque o processo integrado proporciona a recuperação e o reuso de recursos como nutrientes e água e a redução da poluição ambiental. Para Chaves e Silva (2006), é fundamental integrar a piscicultura com a agricultura irrigada uma vez que é possível produzir duas culturas utilizando-se a mesma água e isso resulta em maior diversidade de produtos e aproveitamento de recursos subexplorados.

Israel e muitos países asiáticos, provavelmente, podem ser citados como modelos em desenvolvimento de sistemas integrados agricultura-aquicultura. Em Israel, um país com ambiente em grande parte semiárido ou desértico, o modelo de integração está alicerçado na necessidade de obtenção de máxima vantagem econômica a partir dos limitados recursos hídricos disponíveis, tanto de águas doces superficiais, quanto das águas subterrâneas salobras. A experiência asiática é baseada, em grande parte, na necessidade de utilizar todos os meios disponíveis dos recursos hídricos, solo e nutrientes, tanto para fins comerciais, quanto para subsistência. Ambos os modelos ditam a necessidade do uso múltiplo da água e da integração da aquicultura com uma ou mais atividades agropecuárias. Na Ásia, pode ser citado o exemplo da integração peixe-arroz-patos e, em Israel, a criação de diferentes espécies de peixes integrada à produção de diversas culturas (GOOLEY, 2000).

No Vietnã, conforme relatado por Luu (2003), a estimativa é que 85 % a 90 % das famílias da zona rural têm uma horta e um curral e 30 % a 35 % destas têm um tanque de peixes. Em muitos povoados, 50 % a 80 % das famílias têm um sistema integrado agricultura-aquicultura

completo. Os autores mostram ainda que 30 % a 60 % dos recursos da maior parte das famílias do povoado podem proceder do sistema integrado e, em muitos casos, podem chegar até a 100 %.

Para Gooley e Gavine (2002), na Austrália, as opções para a disposição final e/ou reutilização de águas residuárias da aquicultura, no âmbito de um sistema de agricultura integrada, serão largamente ditadas pelas limitações normais da agricultura irrigada. Mais especificamente, o efluente de água doce rico em nutrientes poderia ser facilmente utilizado para a irrigação de uma série de culturas tradicionais: pastagens, cereais (arroz e trigo), industriais (algodão), horticultura (citros, hortaliças e uvas), bem como culturas hidropônicas (alface, tomate, morango, flores e ervas) e várias agroflorestais. Na opinião de Chaves e Silva (2006), várias culturas podem ser integradas com a piscicultura, mas as olerícolas parecem ser mais apropriadas principalmente por serem bastante consumidas e seu cultivo geralmente ser feito por pequeno e médio produtor rural.

No tocante aos peixes e ao modelo de integração a ser adotado, Gavine e Gooley (2003) esclarecem que a seleção de espécies adequadas e modelo de integração para uma empresa de agroaquicultura requer cuidadosa consideração de uma série de fatores inter-relacionados. Dessa forma, é importante considerar a localização geográfica do local proposto, as condições climáticas, as características físicas (geologia, topografia e solo), bem como a qualidade e a quantidade de água disponível e as espécies. A escolha do sistema e espécies dependerá também do nível de intenção de investimento, da comercialização e de outros fatores econômicos.

Entre as espécies de peixes, as tilápias e carpas parecem se prestar bem a esse modelo de exploração (LITTLE e MUIR, 2003), apresentando importante papel na reciclagem de resíduos dos sistemas (GASCA-LEYVA, 2000). Em Israel, a integração agricultura-aquicultura, que consistiu em um importante passo na intensificação da piscicultura em águas interiores (KOLKOVSKI et al., 2003), chega a responder por cerca de 60 % dos peixes produzidos, cuja grande parte deles é tilápia. No Egito, canais de irrigação de grande porte têm significativo porcentual de sua extensão utilizado para a tilapicultura. Em algumas áreas desse país, existem grandes projetos de produção intensiva de tilápia com o objetivo de examinar o uso de efluentes aquícolas na irrigação de citros e banana. Na Arábia Saudita, efluente de uma tilapicultura, que continha  $40 \text{ mg N L}^{-1}$ , quando utilizado para irrigar trigo, possibilitou uma redução de 50 % na aplicação do nitrogênio na forma de ureia (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004).



Na Ásia, a rizipiscicultura é a atividade mais desenvolvida e com maior potencial para a integração, combinando o arroz irrigado e a aquicultura tecnificada. Seu histórico é maior na Indonésia e na China, mas também tem impacto positivo em países como Bangladesh e Vietnã. A curta duração de cultivo e a relativa valorização dos peixes entram como um importante recurso de sustentação dos rendimentos globais dos campos de arroz. O investimento suplementar necessário, em termo de mudanças físicas no campo de arroz e seus usos da água, também são mais favoráveis às modernas técnicas de cultivo. Nessa região do continente, a espécie mais importante é a carpa comum, apesar de a tilápia do Nilo produzida em sistema integrado com arroz irrigado ter demonstrado bom desempenho no Vietnã e em Bangladesh (LITTLE e MUIR, 2003).

Conforme Ali (2003), na Malásia peninsular, existe aproximadamente 352.000 ha de arroz, dos quais 120.000 ha (34 %) têm profundidade de água (15-16 cm) suficiente para o sistema de cultivo arroz-peixes. Segundo Ahmad (2003), na Malásia, os sistemas integrados de cultivo que têm sido praticados desde a década de 1930 produzem peixes nos arrozais e nos sistemas suíno-piscicultura. Ainda de acordo com o autor, apesar de as pesquisas demonstrarem que esses sistemas são tecnicamente factíveis e economicamente viáveis, há de se considerarem fatores socioeconômicos, como as preferências do consumidor e a sua aceitação pelos agricultores, sendo em alguns casos mais aceitável a integração entre plantas forrageiras e peixes.

Na Indonésia, a tradição do cultivo de peixes em arrozais é antiga e amplamente praticada nas áreas irrigadas de Java ocidental. Os peixes produzidos nos arrozais são, principalmente, alevinos para repovoamento de sistemas de engorda em gaiolas flutuantes de rede e bambu, tanques de cimento com água corrente e sistemas em canais de irrigação (CRUZ, 2003).

No Brasil, um exemplo de sistema integrado de arroz e peixe vem do Rio Grande do Sul, onde espécies de carpas são criadas em áreas de plantio de arroz. Nesse sistema, o hábito alimentar e o comportamento dos peixes é levado em consideração, obedecendo à técnica do policultivo. Assim, a carpa húngara (*Cyprinus carpio*), que é uma espécie onívora, alimenta-se de sementes, minhocas, insetos, pequenos moluscos, entre outros organismos, e também remove o solo à procura de alimentos, executando assim o seu preparo; a carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), por ser herbívora, contribui para o controle de macrófitas; a carpa cabeça grande (*Aristichthys nobilis*) e a carpa prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*) são espécies filtradoras, alimentando-se de fitoplâncton e zooplâncton (GOLOMBIESKI et al., 2005).

O cultivo de bambu e amoreira em taludes de ambientes com cultivo de peixe, segundo Min e Hu (2003), é feito há séculos no delta do Rio Yangtze e Perla, no centro e sul da China, caracterizando-se como um modelo de integração para essa região. Segundo os autores, originalmente, o delta era uma área submersa e, para obter produção, os agricultores passaram a escavar o terreno formando grandes alagados retangulares ou redondos, ideais para piscicultura. Os taludes formados pelo aterramento, com áreas suficientemente amplas, passaram a ser cultivados com bambu, amoreira e outras culturas. O material sedimentado no fundo dos alagados, ou seja, o lodo, depois de raspado, também teve uma destinação, que foi o emprego como fertilizante, sendo aplicado nos aterros, duas a cinco vezes por ano, em quantidades entre 750 e 1.125 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Thipathi e Sharma (2003) expõem que na Índia a integração de cultivos de frutas e hortaliças em taludes de tanques de peixes, que normalmente ficariam abandonados, apresenta vantagens entre as quais podem ser citadas: renda extra proveniente da produção de frutas e hortaliças; utilização do lodo dos tanques, rico em nutrientes, como fertilizante para os cultivos, eliminando os custos de adubos orgânicos; a água fertilizada do tanque para irrigar as plantas; o uso dos resíduos de frutas e hortaliças como alimento dos peixes. Outro ponto positivo é que as plantas reforçam os taludes, evitando desmoronamento.

Plantas aquáticas, de grande importância econômica em vários países asiáticos, como o lótus, que pode ser utilizado como alimento, remédio, ornamentos religiosos, combustível ou ingrediente de cosméticos, são opções de integração ao cultivo de peixes, como o bagre. E os principais parâmetros de qualidade de água do sistema integrado permanecem na faixa segura para o crescimento dos peixes (THAKUR et al., 2005).

Outras formas de integração agricultura-aquicultura podem ser estabelecidas mediante a criação de peixes em reservatórios que armazenam água para irrigação (VAN DER MHEEN, 1999), diretamente em canais de irrigação (REDDING e MIDLEN, 1990; HAYLOR e BHUTTA, 1997; OLIVEIRA e SANTOS, 2008) ou ainda com aproveitamento de rejeitos de dessalinizadores (PORTO et al., 2004; ROTTA et al., 2008). Conforme ressalta van der Mheen (1999), em muitos lugares na Zâmbia e Tanzânia, os agricultores utilizam lagoas abastecidas com água subterrânea para criar peixes e posteriormente usar essas águas para irrigação de pequenas áreas. De acordo com o autor, essa integração visa aumentar a produção global por meio da

melhoria da eficiência de uso da água, terra, mão-de-obra ou outros fatores de produção, bem como a diversificação da produção agrícola para venda e consumo doméstico.

Redding e Midlen (1990) expõem que as gaiolas e telados são considerados as formas mais adequadas de exploração piscícola em canais de irrigação. O principal entrave ao desenvolvimento da aquicultura em tais sistemas é o fluxo contínuo de água, que de preferência deve ser constante, necessário durante todo o período de cultivo dos peixes, e isso não está disponível em muitos projetos de irrigação. Haylor e Bhutta (1997) enumeram os benefícios da utilização dos canais de irrigação integrados com aquicultura: maior diversidade da renda; melhor utilização das terras agrícolas retiradas para a construção dos canais; aumento da oportunidade de trabalho; produção de uma nova cultura alimentar (de proteína animal); aumento da fertilidade da água de irrigação.

Para Oliveira e Santos (2008), no Nordeste do Brasil, apesar do elevado deficit hídrico, existem distritos de irrigação com grande potencial para a produção agrícola. Dessa forma, a realização de cultivos piscícolas nos canais de irrigação e o aproveitamento dos efluentes da piscicultura para produção de frutas e legumes podem ser considerados como poderosos instrumentos para explorar de forma mais eficiente os recursos hídricos do Semiárido nordestino. Ainda segundo os autores, no Brasil as criações de peixes em canais de irrigação já foram realizadas no Projeto de Irrigação Jaíba, em Minas Gerais, no Canal da Redenção, em Coremas, na Paraíba, e mais recentemente no Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI), em Parnaíba-PI. Neste último, experiências exitosas ocorreram quando foram estocadas tilápias (*Oreochromis niloticus*) em densidades de 10, 20 e 30 peixes m<sup>-3</sup> e pirarucus (*Arapaima gigas*) em densidades de 13, 8 e 4 peixes m<sup>-3</sup>.

O sistema de produção integrado utilizando efluentes da dessalinização de águas subterrâneas, que é estudado pela Embrapa Semiárido, é uma combinação de ações integradas em quatro subsistemas, quais sejam: obtenção de água potável para consumo humano; produção de tilápia vermelha; produção de forragem irrigada, tendo como base uma planta halófito (erva sal – *Atriplex nummularia*); engorda de caprino e/ou ovino com uso de Atriplex. Esses sistemas se complementam em uma cadeia sustentável de tal forma que um passa a ser parte do outro (PORTO et al., 2004). A experiência vem tendo grande aceitação e o modelo vem-se difundindo no interior do Nordeste por intermédio de unidades demonstrativas (ROTTA et al. 2008).

Toda essa gama de informações demonstra o sucesso dos sistemas que recuperam nutrientes de águas residuárias e produzem simultaneamente peixes e vegetais, ficando evidenciado que a aquicultura e a agricultura são capazes de absorver as descargas residuais de diversas origens, incluindo as provenientes de esgotos domésticos e atividades agropecuárias, em que se inserem a suinocultura, a avicultura e a própria aquicultura (GASCA-LEYVA, 2000; KUMAR, 2002; EDWARDS, 2003; OLIVEIRA e COSTA, 2005; CHAVES e SILVA, 2006). Consonante a isso, está o fato de que a aquicultura, em conjunto com sistemas de irrigação, desempenha um papel importante, tanto na geração de renda, quanto de segurança alimentar para os grupos mais pobres, e de forma especial, para os que estão em áreas irrigadas de países em desenvolvimento (POLLOCK, 2005).

De outro lado, como já havia sido lembrado por Lin e Yi (2003), precisa-se desenvolver técnicas para mitigar os impactos de resíduos dos sistemas aquícolas e investigar as especificidades de cada sistema, de acordo com as condições locais. Dessa forma, é importante que no sistema de integração as aplicações práticas da gestão de resíduos da produção aquícola sejam tecnicamente simples, economicamente viáveis e culturalmente apropriados. Também é importante formar bases de dados qualitativos e quantitativos para as culturas vegetais e espécies de peixes de interesse, de forma a estabelecer o balanço de massa de nutrientes adequado para os sistemas integrados. Ainda segundo os autores, devem ser estimuladas pesquisas sobre características químicas do sedimento de tanques de cultivo de peixe, associadas à melhoria da eficiência de recuperação dos nutrientes e, finalmente, devem ser desenvolvidos mecanismos eficazes para promover a ampliação da utilização de sistemas integrados.

A última observação é muito importante uma vez que os gestores da área de irrigação muitas vezes não conseguem reconhecer a contribuição que os peixes e outros produtos aquáticos fornecem aos usuários do sistema e apenas focam o manejo de irrigação para a produção vegetal (POLLOCK, 2005). Além disso, com o aumento da população e o consequente aumento da pressão sobre recursos de água doce, insuficiência na produção mundial de peixes e uma diminuição do ritmo da produção agrícola, é fundamental uma melhoria do rendimento da produção de alimentos a partir dos limitados recursos hídricos.

Nessa perspectiva, a utilização da água somente para um único fim, como para a irrigação, é intrinsecamente ineficiente, e os destacados benefícios do sistema integrado agricultura-aquicultura, em substituição à tradicional agricultura irrigada, são considerados lógicos e

inevitáveis para o agronegócio. Essa integração pode promover tanto a recuperação integral dos custos de utilização de água, quanto uma maior produção a partir desse valor de uso da água (GOOLEY e GAVINE, 2003b).

### **3.4. Efluentes da aquicultura**

A aquicultura pode ter tanto efeitos benéficos, quanto adversos sobre o ambiente. Pode, por exemplo, fornecer resíduos para uso na agricultura, tornando terras marginais mais produtivas; pode converter resíduos vegetais e animais em proteína de excelente qualidade; pode ser a principal fonte de suprimento alimentar em regiões onde a pesca tornou-se escassa em razão de modificações no ecossistema e outras causas. De outro lado, ela pode ter efeito negativo sobre o habitat e biota natural por meio do seu processo produtivo e sobre a saúde humana pelo surgimento de doenças de veiculação hídrica (MARTINEZ-ESPINOSA e BARG, 1993).

O processo produtivo aquícola pode ser realizado em viveiros, tanques, tanques-rede, canais, entre outros. (SIPAÚBA-TAVARES, 2004). Em qualquer um deles, a água é o substrato para o desenvolvimento dos organismos aquáticos e como tal, conforme lembram Bastos et al. (2003b), sofre influências internas (densidade de peixes, interações físico-químicas e biológicas) e externas (qualidade da fonte de água, características do solo, clima, introdução de alimentos – ração). Sousa et al. (2008) apontam também os fertilizantes como influências externas.

No ambiente de criação, o material orgânico proveniente da adição de fertilizantes, a excreção dos peixes e os restos de ração não consumidos geram compostos orgânicos, metabólitos e minerais, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), que se depositam no fundo dos tanques ou ficam diluídos no meio (HUSSAR et al., 2005; CHAVES e SILVA, 2006).

De acordo com Kubitza (2000), os resíduos orgânicos presentes nas fezes de peixes sofrem uma degradação biológica por meio da ação de bactérias, fungos e outros organismos aquáticos. A  $\text{NH}_3$  (amônia), metabólito eliminado pelo peixe, é transformada em  $\text{NO}_2$  (nitrito) e em seguida em  $\text{NO}_3$  (nitrato), que são absorvidos pelos vegetais como fonte de nitrogênio. Resende (2002), ao comentar esse mesmo processo, diz que, entre as diversas formas de nitrogênio presentes na natureza, a amônia e, em especial, o nitrato podem ser causas da perda de qualidade da água. A amônia, entretanto, quando presente na água em altas concentrações, pode ser letal aos peixes.

De acordo com Pereira e Mercante (2005), o nitrogênio é considerado um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos em razão de sua participação na formação de proteínas, podendo atuar como fator limitante da produção primária desses ecossistemas e, em determinadas condições, tornar-se tóxico para os organismos aquáticos. Entre os compostos nitrogenados dissolvidos na água, encontram-se uma forma ionizada,  $\text{NH}_4^+$ , denominada íon amônio, e outra não ionizada,  $\text{NH}_3$ , amplamente conhecida como amônia. As duas formas juntas constituem a amônia total ou nitrogênio amoniacal total. Quanto mais elevado for o pH, maior será a porcentagem da amônia total presente na forma  $\text{NH}_3$  (forma tóxica).

Segundo Westers (2001), em um ambiente aquático, 80 % da amônia é derivada das excretas dos peixes. Para Bastos et al. (2003b), as taxas de excreção de nitrogênio variam com a espécie de peixe. Assim em truta (*Salmo gairdnerii*) chega a 16,7 - 37,5 mg de  $\text{NH}_3\text{-N kg}^{-1}$  hora<sup>-1</sup>; em tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) chega a 1,7 mg de  $\text{NH}_3\text{-N kg}^{-1}$  hora<sup>-1</sup>; em tilápia de Mossambique (*Oreochromis mossambicus*) a 1,7 - 9,4 mg de  $\text{NH}_3\text{-N kg}^{-1}$  hora<sup>-1</sup>; em carpa (*Cyprinus carpio*) a 4,2 - 25,0 mg  $\text{NH}_3\text{-N kg}^{-1}$  hora<sup>-1</sup>.

Para Cavero et al. (2004), em uma piscicultura intensiva, a alimentação é a principal fonte de compostos nitrogenados incorporados à água. Assim, no início das criações, quando a biomassa é menor, são observados baixos níveis de amônia que aumentam proporcionalmente à quantidade de alimento fornecido e ao aumento da biomassa. Para os autores, essa situação pode ser agravada em virtude dos elevados níveis de proteína usados nas rações, principalmente no caso da criação de peixes carnívoros.

A probabilidade de lixiviação de nitrato é, em geral, tanto maior quanto maior a permeabilidade do solo. Todos os atributos do solo (notadamente a textura arenosa) que favorecem a infiltração tornam a área mais vulnerável à contaminação da água subterrânea. Nesse sentido, solos com textura grosseira de drenagem rápida, que recebem doses elevadas de nitrogênio na fertilização das culturas, em elevada precipitação pluviométrica ou irrigação com aplicação de água em excesso, caracterizam as condições de maior risco de contaminação de aquíferos subterrâneos (RESENDE, 2002)

Em se tratando de fósforo, Sipaúba-Tavares (1995) relata que todo ele no ecossistema aquático está na forma de fosfato, cujo ortofosfato é o mais comum e a principal forma utilizada pelos vegetais. Ao entrar em contato com o sistema aquático, o fósforo é imediatamente incorporado à cadeia alimentar, via fitoplâncton e zooplâncton, sendo um nutriente essencial para

a manutenção desses organismos. No caso do zooplâncton, cerca de 50 % do fósforo que forma seu corpo fica livre 4 horas após sua morte, sendo incorporado novamente via decompositores. Ainda conforme Sipaúba-Tavares, o fósforo serve como indicativo do estado de trofia do ambiente, e em águas com pH elevado e altas concentrações de Ca, pode ocorrer formação do fosfato de cálcio, que precipita no sedimento, podendo ser perdido no sistema. O ferro e o alumínio também participam do ciclo do fósforo.

Resende (2002) expõe que, em virtude da forte retenção do fósforo pelas partículas do solo, o processo de poluição da água subterrânea por lixiviação de fosfatos é de magnitude desprezível, especialmente em solos tropicais. Nas águas superficiais, verifica-se que o escoamento superficial de água e a erosão dos solos são os principais agentes da contaminação em áreas agrícolas.

Nos sistemas onde se adota a circulação intermitente, os resíduos da aquicultura são veiculados pelo efluente, o qual é geralmente disposto em um corpo receptor sem nenhum tipo de tratamento (HUSSAR et al., 2005). Os efluentes, conforme Zaniboni Filho et al. (1997), que durante 27 meses acompanharam o cultivo em uma estação de piscicultura contendo cerca de 150 tanques e área inundada de 4,5 ha, quando comparada a água de cultivo, apresentaram oxigênio dissolvido mais baixo ( $6,0 \text{ mg L}^{-1}$  no efluente contra  $7,5 \text{ mg L}^{-1}$  na água de cultivo), nitrogênio amoniacal e turbidez mais elevados ( $86,3 \text{ mg L}^{-1}$  no efluente contra  $12,8 \text{ mg L}^{-1}$  na água de cultivo e 2,8 NTU no efluente, contra 7,1 NTU na água de cultivo respectivamente).

Garcia Marin (2003), estudando a produção de resíduos em sistemas de cultivo de tilápia, com diferentes capacidades de produção, demonstra que um sistema com capacidade de engorda de  $10 \text{ t ano}^{-1}$  produz: 1,35 t de amônio, 0,95 t de nitritos, 0,77 t de fosfatos, 24,7 t de sólidos totais, 28,5 t de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e 89,8 t de DQO (demanda química de oxigênio). Já um sistema com capacidade de engorda de  $100 \text{ t ano}^{-1}$  produz: 2,71 t de amônio, 1,90 t de nitritos, 1,54 t de fosfatos, 49,4 t de sólidos totais, 57 t de DBO e 179,55 t de DQO. O estudo mostra também que o sistema de cultivo apresenta uma descarga de matéria orgânica elevada e em proporção direta ao alimento fornecido durante o ciclo.

Existem problemas em relação à produção de peixes em viveiros por causa da má qualidade da água e do efluente que entra nos corpos d'água naturais, que podem provocar eutrofização e sedimentação (SIPAÚBA-TAVARES e BOYD, 2005). Os problemas de descarga de efluente no meio sem tratamento prévio se acentuam no momento da despesca final, quando ocorre o

revolvimento do fundo e a liberação de maior volume de água (MATOS et al., 2000) ou mesmo durante despesca para estipulação da biomassa, captura de matrizes e despesca parcial de alevinos (TOLEDO et al., 2003).

Diminuir os resíduos e aproveitar as águas fertilizadas provenientes das descargas de ambientes com cultivo de organismos aquáticos passa a ser estratégico para o desenvolvimento sustentável da atividade. A esse respeito, tem-se sugerido: o controle sistematizado da qualidade da água de cultivo e o desenvolvimento de rações que melhorem a retenção do fósforo pelos peixes, diminuindo a emissão desse nutriente para o ambiente (MALLASEN e BARROS, 2008); o rígido controle da renovação de água do sistema de cultivo, com suprimento para cobrir apenas as perdas por evaporação e percolação (BOLL et al., 2000a; TAMASSIA, 2000); o uso de lagoas de sedimentação para os efluentes (TOLEDO et al., 2003) e a adoção de policultivo (BOLL et al., 2000b). Já Borghetti e Ostrensky (1998) salientam que o efluente contém grandes quantidades de nutrientes provenientes das excretas de peixes e, principalmente, de restos de ração não consumida, podendo trazer contribuição para a exploração de produtos vegetais.

A contribuição dos efluentes no processo produtivo de culturas agrícolas se dá pelo uso da água como também pela presença de compostos nitrogenados e fosfatados (SMITH et al., 1999). Entre os compostos nitrogenados, o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é a principal forma de nitrogênio assimilado pelas plantas superiores (SCARSBROOK, 1965; ALEXANDER, 1967), mas o nitrogênio é absorvido também na forma do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), cuja forma é absorvida e utilizada principalmente por plantas jovens, enquanto o nitrato é a principal forma utilizada durante o período de grande crescimento (BENNETT, 1994). Para Mengel e Kirkby (1978), embora o nitrato seja frequentemente uma fonte preferencial para as plantas, a forma preferencial de nitrogênio depende muito das espécies vegetais e de fatores ambientais. Assim, grandes culturas absorvem principalmente  $\text{NO}_3^-$ , mesmo quando fertilizantes ricos em  $\text{NH}_4^+$  são aplicados, em razão da oxidação microbiana do  $\text{NH}_4^+$  no solo.

A amônia ( $\text{NH}_3$ ) e o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) são os compostos que constituem a matéria-prima para a obtenção dos fertilizantes nitrogenados por meio da fixação industrial do N (DUARTE, 2007).

O fósforo é também de grande importância para os vegetais (MENGEL e KIRKBY, 1978) e é absorvido pelas plantas, quer como íon fosfato monovalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), quer como íon fosfato divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). A prevalência de um ou outro íon é determinada pelo pH do solo. Dessa



forma, o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  é predominante em solos com pH menor que 7,2 e o  $\text{HPO}_4^{2-}$ , em pH superior a 7,2. A relação N:P também influencia a absorção de fósforo pelas plantas de forma que, quando N e P estão fisicamente e/ou quimicamente associados no solo, a absorção de P é reforçada (BENNETT, 1994).

Hussar et al. (2002), utilizando efluente da piscicultura na irrigação da cultura da alface, observaram um teor maior de NPK em relação à água de abastecimento normal, no entanto, esse resultado não influenciou no peso das plantas quando foi usada 50 % e 100 % da adubação química recomendada para a cultura. Assim, os autores concluíram que a água residuária do tanque de piscicultura exerce alguma influência nutricional sobre as plantas, embora bastante inferior quando comparada com a adubação química.

Zimmermann e Fitzsimmons (2004) expõem que os nutrientes dos efluentes da tilapicultura estão prontamente disponíveis às plantas e, em virtude de a maioria dos nutrientes estar ligada a sólidos e a outras formas orgânicas mais complexas, é possível que os nitratos não lixiviem na coluna do solo tão rapidamente como os fertilizantes químicos, e esse fato talvez seja uma das razões dos melhores resultados para plantas provenientes da aquaponia (com tilápia) quando comparado aos da hidroponia (sem tilápia).

Em trabalhos realizados para a reutilização de efluentes do cultivo de bagre híbrido para fertilizar a cultura do arroz na Tailândia, Lin e Yi (2003) encontraram que a cultura retira 32 % de nitrogênio total e 24 % de fósforo total dos efluentes, com a produção de arroz comparável a que recebeu adubação inorgânica. Em outro experimento, determinou-se a eficiência de plantas aquáticas enraizadas na extração de nutrientes dos substratos dos tanques de cultivo de peixes. Os resultados mostraram que as plantas aquáticas, tais como lótus (*Nelumbo mucifera*), foram capazes de remover 300 kg N e 43 kg de P  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  a partir desses substratos.

Apesar dos benefícios comprovados de efluentes sobre culturas vegetais, Mendonça et al. (2003) alertam para os critérios e padrões de qualidade microbiológica de efluentes, os quais se encontram usualmente associados ao tipo de cultura e ao método de irrigação. Em geral, critérios mais restritivos são dirigidos à irrigação de produtos ingeridos crus e à utilização de irrigação por aspersão; em outro extremo, critérios mais permissíveis são admitidos para culturas não comestíveis e com irrigação localizada.

### 3.5. Tilapicultura

Tilápia é o nome genérico de um grupo de ciclídeos endêmicos da África, Israel e Jordânia. O grupo consiste em três gêneros importantes para a aquicultura – *Oreochromis*, *Sarotherodon* e *Tilapia* (POPMA e MASSER, 1999; ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004), os quais abrangem mais de 80 espécies. Entre essas, a *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *O. aureus*, *O. macrochir*, *O. hornorum*, *O. galilaeus*, *Tilapia zillii* e a *T. rendalli* são as mais criadas comercialmente (EL-SAYED, 1999).

Segundo Zimmermann e Fitzsimmons (2004), as tilápias estão presentes nos mais diversos mercados, de Berlin a Manila, de São Paulo a Nova Iorque, sendo, por esse motivo, chamadas de “frango aquático”. Por terem alto valor comercial (especialmente nos países desenvolvidos) e custos de produção relativamente baixos (nos países em desenvolvimento), as tilápias vêm penetrando em diversos mercados, especialmente naqueles dos peixes de “filés brancos”.

A produção mundial de tilápia vem crescendo ano a ano e em 2007 atingiu 2,6 milhões de toneladas. A Ásia responde por cerca de 75 % dessa produção e a China, o maior produtor, responde por 50 %. Como a procura por esse peixe continua crescendo, a previsão é de que até 2010 a produção mundial atinja 3 milhões de toneladas, com a China almejando produzir 1,2 milhão de toneladas e exportar US\$ 460 milhões. Os Estados Unidos (EUA) estão entre os principais importadores, chegando em 2008 a importar 100.600 t de filé de tilápia congelada, 29.200 t de filé fresco e 49.600 t de tilápia inteira congelada. Os países fornecedores para os EUA são Equador, Honduras, Costa Rica, China, Taiwan, Brasil, El Salvador, Tailândia, Hong Kong, Indonésia e Panamá. O produto exportado pelo Brasil é o filé fresco, e o montante exportado entre 2003 e 2008 foi de 3,2 t contra 61,5 t exportadas pelo Equador (FAO Globefish, 2009).

O Brasil apresenta excelentes condições para a exploração da tilápia (OLIVEIRA et al., 2007) e sua produção vem aumentando a cada ano. Em 2006 a produção proveniente de cultivos controlados atingiu a cifra de 71.253,5 t, sendo as regiões Nordeste, Sul e Sudeste, com produções de 26.444,5, 22.199,5 e 15.973,0 t, respectivamente, as principais produtoras (IBAMA, 2008). Há algum tempo, os cultivos em tanques escavados e fertilizados predominavam na Região Nordeste, enquanto nas regiões Sul e Sudeste a produção de tilápias tinha como base o uso de tanques-rede, *raceways* e tanques circulares (FITZSIMMONS, 2000a).

No Brasil, na década de 1980, a produção era baseada nas tilápias vermelhas híbridas e tilápia do Nilo, *O. niloticus* (MARQUES et al., 2003b). Posteriormente, com a introdução de uma

linhagem de tilápia nilótica no Paraná, em 1996, e no Estado do Ceará, em 2000, passou a predominar nos cultivos a linhagem Tailandesa ou Chitralada. Essa linhagem foi desenvolvida no Japão e melhorada no Palácio Real de Chitralada, na Tailândia (ZIMMERMANN, 2000).

Nos últimos oito anos, o crescimento da tilapicultura no Brasil tem sido intenso de forma que vem sendo apontado como capaz de, no futuro, substituir a maior parte dos fornecedores da Ásia para o mercado norte-americano (COSTA-PIERCE, 2000). Além da introdução da linhagem Chitralada, outros fatores vêm contribuindo para tamanho crescimento. Entre eles, podem ser citados: adoção de controle da reprodução; uso da técnica de reversão sexual, com hormônio  $17\alpha$ -Metiltestosterona, para produção de populações monossexo masculinas; uso de dietas comerciais nutricionalmente completas; realização de cultivos em tanques-rede (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004; KUBITZA, 2000).

Para melhor entendimento de tão grande preferência pelas tilápias, é preciso destacar que elas são de fácil reprodução, apresentam carne branca de excelente qualidade, são considerados peixes com ótimo valor de mercado, baixos custos de produção, que se adaptam aos sistemas de produção dos mais extensivos até os mais intensivos, e podem ser cultivadas em águas com salinidades elevadas e temperaturas baixas (MARQUES et al., 2003b; ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004; OLIVEIRA et al., 2007). Stickney (2000) também ressalta que as tilápias são as mais versáteis de todas as espécies aquícolas, de forma que, em temperatura da água próxima a 30 °C, elas resistem por muito tempo a um grande adensamento, a qualidade da água degradada, a uma vasta gama de salinidades (dependendo das espécies) e ao estresse da manipulação. Reproduzem-se facilmente, notavelmente resistente a doenças, crescem muito rapidamente, quanto ao mercado têm carne branca firme e são consideradas pelo sabor muito elevado. Além disso, apresentam teor de gordura relativamente baixo, o que prevê longa vida de prateleira em comparação com vários outros pescados.

Com hábitos alimentares, que vão do herbívoro ao onívoro, as tilápias normalmente consomem uma dieta variada, incluindo algas, detritos, bactérias e partes de plantas, o que as torna especialmente capazes de digerir uma grande variedade de ingredientes. Essa amplitude de hábitos tem permitido a elaboração de dietas à base de ingredientes locais, que estão disponíveis a partir de subprodutos agrícolas, proporcionando redução dos custos com alimentação e expansão do cultivo. Outro benefício é que as proteínas vegetais, em geral, são mais baratas do que as proteínas animais, tais como as provenientes de farinha de peixe e de carne. Em uma

perspectiva ecológica, alimentos de origem vegetal para um consumidor primário é mais eficiente do que os alimentos de origem animal, necessários a animais de nível trófico mais alto, como os peixes carnívoros (FITZSIMMONS, 2000b).

Em tanques-rede, a lucratividade da tilápia atinge 22,57 %, podendo esses valores atingir maiores índices mediante estratégias de comercialização (SABBAG et al., 2007). Entre as estratégias para agregação de valor à tilápia produzida em sistemas intensivos, conforme Ayroza et al. (2008), estaria a venda para pesque-pague, feiras livres e peixarias. Os autores destacam também que a comercialização das tilápias para indústrias é primordial em decorrência da quantidade de peixes produzida por unidade de área.

Em sistemas de produção intensiva, como em tanques-rede e sistemas com elevada circulação de água, a alimentação, que se baseia em ração, pode representar cerca de 80 % do custo final de produção. Nessa perspectiva, as rações devem apresentar elevada digestibilidade, boa flutuabilidade e estabilidade na água (GONTIJO et al., 2008). O manejo alimentar deve ser cuidadoso para evitar sobras de ração, que prejudicam a qualidade da água, principalmente elevando o teor de amônia e reduzindo o oxigênio dissolvido. Isso é possível com alimentação baseada em ração extrusada, que possibilita a visualização das sobras (AYROZA et al., 2000).

Produção de tilápia em sistema integrado é frequente e ocorre de diferentes formas. Na Tailândia, um sistema integrado foi obtido estocando-se o híbrido de *catfish* (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) em hapas que haviam sido instalados em tanques de 250 m<sup>2</sup> de área e peixado com tilápia nilótica (*O. niloticus*). Nesse sistema, os *catfish* foram alimentados com ração peletizada e as tilápias, com o alimento natural, cujo desenvolvimento foi estimulado pelos resíduos dos *catfish*. Ao final de cinco meses, a produção média de *catfish* e tilápia em cada tanque chegou a 100 e 140 kg respectivamente (LIN et al., s.d.).

No Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí, em Parnaíba-PI, um modelo de integração foi estabelecido mediante estocagem de tilápias em canais de irrigação, em três diferentes densidades (30, 20 e 10 peixes m<sup>-3</sup>) e alimentadas com rações extrusadas, contendo 35 % a 28 % de PB, nas taxas de 5 %, 4 % e 3 % do peso vivo dia<sup>-1</sup>. Após 116 dias de cultivo os peixes, que apresentavam no início do estudo peso médio de 34,44 g e comprimento total de 12,43 cm, apresentaram comprimento total de 29,87 cm a 31,48 cm e peso corporal de 564,35 g a 693,73 g. Foram registrados ganho de peso de 3,93 a 5,52 g dia<sup>-1</sup>, produtividade de 289,67 a 92,49 kg 16,2 m<sup>-3</sup>, perdas (por morte ou fuga) de 0,0 a 23,23 % e conversão alimentar de 1,90 a

2,37. Também foi observada pouca interferência dos peixes sobre a qualidade da água do canal (OLIVEIRA e SANTOS, 2008).

Os sistemas superintensivos de cultivo de tilápias compõem um conjunto de esquemas de produção quase sempre em ambiente de águas claras, transparentes, podendo ser divididos em diversas modalidades de acordo com suas principais estruturas físicas: estufas-tanque em “v”, *raceway*, canais de irrigação, recirculação e aquaponia, e gaiolas flutuantes ou tanques-rede. A densidade de peixes é muito elevada e a ração desempenha um papel fundamental na saúde e crescimento dos peixes. Esse sistema possibilita a integração do cultivo de tilápia com a agricultura irrigada (FERNANDO e HALWART, 2000; ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004).

### **3.6. Cultura do feijão-vigna**

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) possui uma grande variabilidade genética que o torna versátil, sendo usado para várias finalidades e em diversos sistemas de produção. Tem uma grande capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, adaptando-se bem a diferentes condições ambientais. Contém os dez aminoácidos essenciais ao ser humano e tem excelente valor calórico. Com essas características, é uma espécie de grande valor atual e estratégico (FREIRE FILHO et al., 2005)

De acordo com os dados do IBGE (2009), no ano de 2007 a produção de feijão (tanto *Phaseolus* como *Vigna*) na Região Nordeste (783.353 t) correspondeu a 24,71 % da produção nacional, entretanto, a área plantada nessa região (2.201.842 ha) correspondeu a 55,38 % da área total plantada com a cultura no Brasil. Esse dado mostra a importância do feijão para a agricultura nordestina. A Bahia foi o estado maior produtor da região (319.402 t), sendo a sua produtividade (503,68 kg ha<sup>-1</sup>) também a maior, muito próxima da de Sergipe (492,91 kg ha<sup>-1</sup>), mas bem abaixo da média nacional de 797,14 kg ha<sup>-1</sup>. As menores produtividades ficaram com os estados do Ceará e Piauí, respectivamente, 230,77 e 164,24 kg ha<sup>-1</sup>, onde predomina o cultivo do feijão-caupi. Nos dois últimos estados, a produtividade é baixa se comparada à de outros estados, pois a produção é proveniente de pequenos agricultores que produzem principalmente para o consumo próprio, e a falta de tecnologia contribui decisivamente para a perda de produtividade

da cultura. Nesse quadro, os fornecimentos adequados de água e nutrientes são fatores limitantes à obtenção de maiores rendimentos.

Segundo Coulibaly e Lowenberg-DeBoer (2002), o feijão-caupi tem o potencial para contribuir com a segurança alimentar e com a redução da pobreza na África Ocidental. O consumo de feijão-caupi na região está aumentando em razão do elevado crescimento da população, principalmente das zonas urbanas, e também em virtude da pobreza e da procura por alimentos de baixo custo. Os rendimentos da cultura podem ainda ser aumentados se as restrições técnicas e socioeconômicas forem trabalhadas de forma integrada. Lambot (2002) e Myaka et al. (2002) ressaltam a crescente importância do feijão-caupi em países como Benin, Burkina Faso, Camarões, Chade, Gana, Mali, República do Níger, Nigéria, Senegal e Togo, todos da África Central ou Ocidental, em alguns países do leste da África, como o Quênia e a Tanzânia, e em países como o Brasil e a Índia.

Na África, o feijão-caupi é consumido essencialmente como grão seco e, em menor escala, na forma de vagens ou como cultura forrageira. Os pedúnculos de um grupo de cultivar são utilizados no norte da Nigéria pelas suas fibras muito resistentes. Na Ásia a principal variedade cultivada tem por finalidade a produção tanto de grãos secos (sementes) quanto de vagens verdes. Em outros locais, o feijão-caupi também é utilizado como forragem verde, feno, proteína concentrada, cobertura vegetal e na indústria de conserva (LAGHETTI et al., 1990). Para Padulosi e Ng (1990), o feijão-caupi pode fornecer uma substancial contribuição, reduzindo a erosão do solo, particularmente em áreas marginais, onde é capaz de prosperar em ambientes pobres e obter um relativo crescimento, além de ser uma boa fonte de silagem, adubo verde e pastagem.

O cultivo de feijão-caupi na África sempre se desenvolveu em sistema de consorciação com uma grande diversidade de culturas. Ele é componente de um sistema amplo de cultivo e com mais frequência está consorciado ao milheto, sorgo, amendoim e gergelim (OLUFAJO e SINGH, 2002). Na Ásia, o uso do feijão-caupi é importante principalmente nas regiões secas, como na Índia. Nas regiões úmidas do Sudeste Asiático e do sul da China, o feijão de vagem longa é predominante e usado de forma verde. Na América do Sul, o feijão-caupi é cultivado nas planícies secas, como o Nordeste do Brasil, existindo um interesse crescente nas áreas úmidas, como a Bacia Amazônica, onde o feijão-caupi está mais bem-adaptado a solos com baixo pH e elevado teor de alumínio do que o feijão *Phaseolus*. Também é utilizado em sistema de cultivo

consorciado similar ao desenvolvido na África e na Ásia. Nos Estados Unidos, os grãos secos são produzidos principalmente na Califórnia e no oeste do Texas, enquanto a produção de grãos verdes, para conserva ou consumo fresco, é realizada no leste do Texas, na Flórida e na Carolina do Norte e do Sul (RACHIE, 1985).

De acordo com Inaizumi et al. (1999), o desenvolvimento da tecnologia de integração feijão-caupi/pecuária é uma importante contribuição para diversificar os rendimentos dos agricultores, melhorando a segurança alimentar e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em regiões marginais da África subsaariana. Os resultados mostraram uma rápida difusão e adoção da tecnologia na Nigéria. Apenas em quatro anos após a sua introdução, foi utilizada por mais de 1.500 agricultores. Para Tarawali et al. (2002), o feijão-caupi tem potencial de funcionar como fator integrador dos sistemas de fornecimento de proteína na dieta humana, forragem para o gado e incorporação de nitrogênio à agricultura por meio do incremento da produtividade, melhoria do manejo dos animais e aumento da reciclagem de nutrientes e fertilidade do solo.

No Brasil, o feijão-caupi pode ser cultivado tanto no clima seco da Região Nordeste, como no clima úmido da Região Norte, abrangendo as latitudes de 5° N a 18° S. É bem-adaptado ao Cerrado brasileiro e ainda é cultivado em pequenas áreas no Paraná e no Rio Grande do Sul (PINHO et al., 2005). No País não existem limitações térmicas ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, à exceção das estações de outono e inverno da Região Sul. Em condições de sequeiro, a principal causa da variação da produtividade de grãos está associada à disponibilidade hídrica. Essa pode ser representada pelo número de dias de chuva e tem efeito diferenciado, dependendo principalmente do tipo de solo, do número de plantas por unidade de área e da radiação solar (CARDOSO et al., 2005). Resultados de pesquisas mostram a boa adaptabilidade da cultura à Região Sul (DÁVALOS et al., 2001; TOMN et al., 2001), bem como à Região Centro-Oeste (ABREU et al., 2006; SAGRILO et al., 2006).

De acordo com Bressani (1985), a composição química do feijão-caupi é similar a da maioria dos legumes comestíveis. Ele contém aproximadamente 24 % de proteína, 62 % de carboidratos solúveis e pequenas quantidades de outros nutrientes. Assim, a maior parte do seu valor nutricional é fornecida pelas proteínas e carboidratos. A variação do conteúdo de proteína é aproximadamente de 23 % a 30 % e é influenciada pelo genótipo bem como por fatores ambientais. O total de carboidratos varia entre 56 % e 68 %, com o amido contribuindo entre 32 % e 48 %. Grangeiro et al. (2005) demonstram que o teor de carboidratos em sementes de

genótipos de feijão-caupi desenvolvidos no Nordeste brasileiro varia de 51,09 % a 74,54 %, enquanto o teor de proteínas varia de 21,1 % a 29,4 %. Frota et al. (2008) expõem que o feijão-caupi possui atributos desejáveis como altos teores de energia, proteínas, fibras e minerais, baixa atividade inibitória de tripsina e, apesar de reduzido conteúdo lipídico, contém alta proporção de ácidos graxos insaturados.

O feijão-caupi é comumente incorporado aos sistemas de rotação de cultura em ecossistemas semiáridos, úmidos e subúmidos. A fixação biológica de nitrogênio trás muitos benefícios à cultura subsequente. O sistema de duplo cultivo de arroz e feijão está sendo muito utilizado na África, particularmente quando variedades de ciclo curto de feijão-caupi podem ser cultivadas aproveitando a umidade residual. As variedades de ciclo curto, com menos de 90 dias, tornam-se ideais para a fase final da estação chuvosa, comum nas áreas tropicais úmidas, quando as vagens amadurecem na estação seca (MULEBA e EZUMAH, 1985).

A deficiência de fósforo é o principal fator limitante da fertilidade dos solos para a produção de feijão-caupi (BATIONO et al., 2002). Os solos cultivados com feijão-caupi nas regiões Norte e Nordeste do Brasil possuem limitações de fertilidade, além de apresentarem problemas de acidez e, em alguns locais, de salinidade e elevados níveis de alumínio trocável. O fósforo é o fator comum limitante da fertilidade desses solos, sendo necessário um eficiente manejo da adubação fosfatada. O nitrogênio pode ser suprido simbioticamente pela cultura, mas, para áreas recém-desmatadas, arenosas e com teor de matéria orgânica menor que  $10 \text{ g kg}^{-1}$ , é necessária uma adubação nitrogenada em fundação. O potássio é o nutriente extraído e exportado em maior quantidade, mas apesar disso a cultura raramente responde à adubação potássica (MELO et al., 2005).

Sintomas de deficiência de nitrogênio ocorrem nas áreas cultivadas com feijão-caupi, principalmente quando a cultura é desenvolvida em épocas de muita chuva ou em épocas das secas, ocasionados pela alta lixiviação de nitrogênio ou deficit hídrico respectivamente. Os fatores que prejudicam a fixação nitrogenada prejudicam também a sua absorção, destacando-se entre eles a adubação incompleta, o mal-arejamento do solo e a acidez elevada. A taxa de absorção de fósforo e potássio é muito pequena nas duas primeiras semanas de desenvolvimento da cultura, a partir das quais ocorre uma absorção acelerada, com pontos máximos coincidindo com o período de floração (OLIVEIRA e DANTAS, 1988).



Os sintomas de deficiência de nitrogênio no feijão aparecem como uma uniforme descoloração verde-pálida a amarelo das folhas mais velhas. O crescimento é reduzido, poucas flores desenvolvidas ou vagens malpreenchidas. O crescimento lento é o principal sintoma da deficiência de fósforo. As folhas jovens são pequenas e verde-escuras, e as mais velhas transformam-se em folhas amareladas e, em seguida, castanho e senescem prematuramente. As plantas têm caules finos e entrenós encurtados. O período vegetativo pode ser prolongado e a fase de floração é atrasada e encurtada. O número de flores abortadas é frequentemente elevado, poucas vagens são formadas e a quantidade de semente pode ser reduzida. Os sintomas de deficiência de potássio no feijão normalmente ocorrem em plantas jovens. Inicialmente é vista uma clorose marginal nas folhas mais velhas com posterior amarelecimento do centro e da base da folha. As plantas podem ter caules finos, entrenós curtos, reduzido crescimento radicular e podem facilmente sofrer colapso (HALL e SCHWARTZ, 1994).

Estudo realizado por Cardoso et al. (2006) mostra que na cultura os componentes de rendimento, número de vagens  $\text{m}^{-2}$  e número de grãos  $\text{m}^{-2}$ , respondem de maneira quadrática a doses de fósforo, com máximos de 62,5 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  (88,6 vagens  $\text{m}^{-2}$ ) e 61,49 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  (1.314 grãos  $\text{m}^{-2}$ ). O efeito quadrático também foi observado para o rendimento de grãos em relação às doses de fósforo, com um máximo técnico de 1.559 kg  $\text{ha}^{-1}$  e máximo econômico de 1.557 kg  $\text{ha}^{-1}$  obtidos com as doses de 58,2 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  e 54,9 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  respectivamente.

Andrade Júnior et al. (2001) verificaram uma expansão da área com feijão-caupi em cultivos comerciais em regime de irrigação. Barros et al. (2006) afirmam que, mesmo tradicionalmente cultivado em regime de sequeiro, o feijão-caupi surge como uma opção para cultivo em regime irrigado no Nordeste. Nessas áreas, é cultivado em sucessão a outra cultura de maior valor econômico, de forma a aproveitar o efeito residual da adubação e uma menor oferta do produto em épocas de entressafra.

De acordo com Andrade Júnior et al. (2005a), elevadas produtividades de grãos no feijão-caupi podem ser alcançadas com o uso da irrigação, sendo essa técnica um recurso imprescindível para garantir adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, entretanto, é necessário um manejo racional visto que tanto o excesso quanto a escassez de água podem prejudicar o desenvolvimento da cultura. A cultura mostra-se bastante sensível em ganhos de produtividade aos incrementos da lâmina de água, principalmente nas condições de solos

arenosos. Lâminas de irrigação variando entre 317 mm e 455 mm no ciclo de cultivo permitem a obtenção de produtividades de grãos secos superiores a 2.000 kg ha<sup>-1</sup>. Para Cardoso et al. (2001), no geral, as variedades melhoradas apresentam uma produtividade média de grãos verdes (2.355 kg ha<sup>-1</sup>) superior à média (1.617 kg ha<sup>-1</sup>) das variedades tradicionais, cuja a principal causa é o componente de produção número de vagens por planta.

Atualmente, os pequenos produtores e os consumidores da Região Nordeste têm demonstrado interesse na produção, comercialização e consumo do feijão-caupi como grãos verdes (maduros), sendo normalmente comercializado em mercearias, feiras livres e supermercados (NASCIMENTO et al., 2004; CARDOSO e RIBEIRO, 2006). O sistema de comercialização na forma de grãos verdes/maduros é o que apresenta melhor renda bruta para o produtor de feijão-caupi (MIRANDA e ANUNCIAÇÃO FILHO, 2001).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa envolveu um sistema integrado de produção com piscicultura e agricultura irrigada, em que os efluentes gerados pelo cultivo de peixe foram utilizados para a biofertilização da cultura vegetal. A espécie de peixe utilizada para cultivo foi a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), linhagem chitralada, e a cultura vegetal foi o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), cultivar BRS Guariba.

### 4.1. Localização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido na Unidade de Execução de Pesquisa (UEP) localizada em Parnaíba, PI, pertencente à Embrapa Meio-Norte. As coordenadas geográficas são: latitude 3°5'S, longitude 41°47'W e altitude 46,8 m. O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média, fase caatinga litorânea, relevo plano e suave ondulado (MELO et al., 2004).

O clima do Município de Parnaíba, conforme a classificação climática de Thornthwaite e Mather, é C<sub>1</sub>dA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com pequeno excedente hídrico e uma concentração de 32,6 % da evapotranspiração potencial no último trimestre do ano (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005b). A precipitação média anual está em torno de 1.079 mm e período chuvoso de janeiro a junho, com evapotranspiração de referência média anual por Penman-Monteith de 1.862 mm. A temperatura média anual é de 27 °C, umidade relativa média de 76,5 % e insolação média de 8,0 h dia<sup>-1</sup>. A velocidade do vento é, em média, 2-5 m s<sup>-1</sup>, com direção predominante de NE e E (BASTOS et al., 2006a). Os dados meteorológicos referentes ao

ano de 2008 estão expostos na Tabela 1 e foram obtidos na estação agrometeorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na UEP/Embrapa Meio-Norte.

## **4.2. Cultivo de peixes**

### **4.2.1. Instalações**

Os peixes foram estocados em um conjunto de 24 tanques de fibra de vidro localizados a céu aberto e dispostos em quatro linhas com seis tanques cada e distância de 2 m de um tanque a outro. Os tanques tinham formato de retângulo com cantos arredondados e estavam parcialmente enterrados, ficando o fundo a 30 cm abaixo do nível do terreno. Cada tanque, com capacidade máxima de armazenamento de 5.000 L e altura máxima da coluna de água de 139 cm, durante o experimento, teve o seu volume de água mantido em 3.000 L, com uma profundidade de 85 cm e espelho d'água de 3,53 m<sup>2</sup>. Para maior controle das atividades do experimento, os tanques foram numerados sequencialmente de 1 a 24 (Figuras 1 e 2).

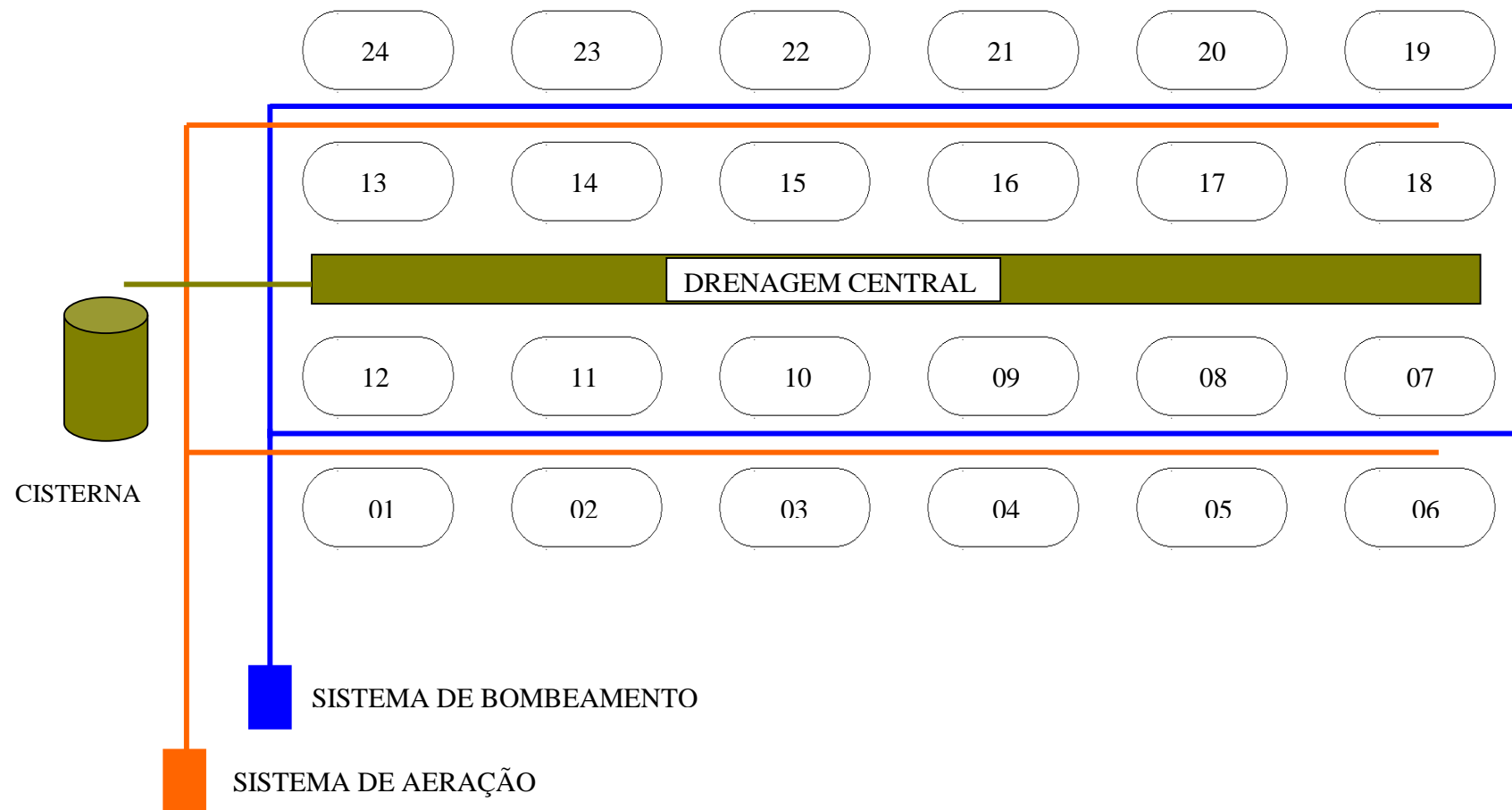
Os tanques foram abastecidos individualmente, pela parte superior, com água de um reservatório localizado próximo à área experimental. A renovação de água nos tanques foi mantida de forma contínua por meio de eletrobombas de 1,5 e 5,0 cv e tubulação de PVC (DN 50, 32 e 25), em sistema interligado, para maior equilíbrio hidráulico dos pontos de descarga. A taxa de renovação foi controlada por meio de registros de globo de PVC e aferida, semanalmente, com proveta e cronômetro.

O sistema de escoamento dos tanques foi constituído de cotovelo móvel, confeccionado com cano de PVC de 50 mm de diâmetro, localizado na parte inferior do tanque, de forma a realizar a eliminação da água do fundo (efluente) e controlar o nível da água. Os efluentes dos tanques foram liberados em uma canaleta de alvenaria, de onde foram direcionados a um reservatório de 7.000 L. Um sistema de aeração, formado por um soprador elétrico com potência de 3,0 cv e distribuição do ar comprimido por tubulação de PVC perfurada e disposta longitudinalmente no fundo de cada tanque, garantiu o fornecimento de oxigênio aos tanques.

**Tabela 1.** Dados meteorológicos mensais do Município de Parnaíba, PI, obtidos na estação do INMET/UEP-Parnaíba/Embrapa Meio-Norte, ano 2008.

Mês	Temperatura do ar (°C)			UR (%)	Vento(2 m) (m s <sup>-1</sup> )	INS (h)	EV (mm)		ETo(mm)		PP (mm)	PA (mb)
	MED	MAX	MIN				EPI	ECA	EToCA	EToPM		
Janeiro	28,3	32,6	23,9	72,7	2,47	181,0	155,7	187,7	140,1	144,4	135,7	1004,74
Fevereiro	27,7	32,0	23,4	80,7	2,04	188,4	111,0	161,1	128,0	131,1	116,4	1005,72
Março	26,5	30,1	22,9	85,8	0,91	133,0	57,1	118,4	99,9	107,8	398,1	1005,68
Abril	26,7	30,3	23,1	85,2	0,98	145,2	52,2	105,1	89,4	105,1	364,4	1004,99
Maio	26,9	30,8	23,0	81,7	0,87	185,4	66,4	131,0	110,9	109,6	165,0	1006,10
Junho	26,9	31,2	22,6	78,8	0,78	199,5	79,5	134,2	112,7	105,3	56,5	1006,87
Julho	27,2	32,5	21,9	73,5	1,22	254,8	114,7	160,3	133,7	127,3	50,8	1007,74
Agosto	27,5	33,1	22,0	75,2	1,98	279,7	127,8	203,9	160,4	146,2	43,8	1006,41
Setembro	28,7	34,2	23,1	73,7	3,06	288,1	187,3	249,8	188,1	169,3	0,0	1006,80
Outubro	29,4	35,0	23,7	72,6	3,61	294,8	217,7	272,9	199,7	188,6	0,0	1005,82
Novembro	29,1	34,1	24,2	74,5	3,81	282,8	216,8	263,3	195,8	177,4	0,0	1004,70
Dezembro	28,8	33,7	24,0	75,5	3,11	253,0	179,3	231,0	173,3	164,4	47,5	1004,63

UR: umidade relativa do ar; Vento (2m): velocidade do vento a 2 m de altura; INS: insolação; EV: evaporação; EPI: evaporação medida no psicrômetro; ECA: evaporação do tanque Classe "A"; EToCA: evapotranspiração pelo método do tanque Classe "A"; EToPM: evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith; PP: precipitação pluviométrica; PA: pressão atmosférica.



**Figura 1.** Esquema das instalações da piscicultura.



**Figura 2.** Vista geral dos tanques de cultivo de tilápia.

#### 4.2.2. Fatores estudados e delineamento experimental

No experimento com tilápia, foram dois os fatores estudados: densidades de estocagem (2 níveis) e taxa de renovação diária da água dos tanques de cultivo (4 níveis). As densidades de cultivo foram 28 (D1) e 56 (D2) peixes  $m^{-3}$  e as taxas de renovação foram 200 % (V1), 400 % (V2), 600 % (V3) e 800 % (V4), resultando na aplicação de oito tratamentos (D1V1, D1V2, D1V3, D1V4, D2V1, D2V2, D2V3 e D2V4). Como foi mantido nos tanques um volume de 3.000 L de água, o número de peixes em metade dos tanques foi 84 peixes e na outra metade 168 peixes.

O experimento foi instalado em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4 (densidade x taxa de renovação) e três repetições (tanques), totalizando 24 unidades experimentais.

#### 4.2.3. Manejo

Os tanques foram povoados no dia 02/07/2008 com juvenis de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), linhagem chitralada, revertidos sexualmente para machos e apresentando peso médio de  $49,53 \pm 2,84$  g e comprimento médio de  $13,35 \pm 0,16$  cm. Na ocasião, foi realizada a primeira biometria e após a estocagem foi estabelecido um período de uma semana para aclimação dos peixes às instalações e manejo. Nesse período, os peixes que morreram foram substituídos.

Os peixes foram alimentados com ração comercial extrusada apresentando 40 %, 35 %, 32 % e 28 % de proteína bruta (PB), com pélete de 4 mm, 6 mm e 8 mm de diâmetro e taxa alimentar de 5,0 % a 2,5 % do peso vivo por dia, distribuída em quatro refeições diárias, de acordo com as várias fases de desenvolvimento e conforme apresentado na Tabela 2. A ração fornecida em cada tanque e refeição foi controlada por meio de pesagem em balança digital com precisão de 0,05 g.

O experimento durou 140 dias e foi finalizado no dia 19/11/2008, ocasião em que foi realizada a sexta e última biometria.



**Tabela 2.** Valores utilizados no manejo alimentar de tilápia nilótica durante o experimento.

<b>Dia</b>	<b>Peso vivo (g)</b>	<b>Refeição dia<sup>-1</sup></b>	<b>Taxa alimentar (% PV)</b>	<b>% PB na Ração</b>	<b>Diâmetro do pélete (mm)</b>
Até 28	50 - 130	4	5,0	40	4
29 a 36	130 - 170	4	5,0	35	4
37 a 56	170 - 280	4	5,0	32	6
57 a 112	280 - 580	4	4,0	28	8
113 a 140	580 - 720	4	2,5	28	8

#### **4.2.4. Variáveis avaliadas**

##### **4.2.4.1. Desempenho dos peixes**

O crescimento dos peixes foi acompanhado por meio de biometrias realizadas no dia da estocagem dos peixes nos tanques e a cada 28 dias, sempre no horário da manhã. Na biometria inicial, foi tomada uma amostra de peixe correspondendo a 50 % da população para ser submetida a determinação individual do peso corporal (g) em balança digital com precisão de 0,01 g e comprimento total (cm) com ictiômetro. Nas biometrias realizadas após a estocagem, uma amostra de peixe correspondendo a 25 % da população de cada tanque foi capturada com auxílio de puçá, acondicionada em recipiente plástico de 30 L, e submetida às determinações biométricas de peso corporal e comprimento total, conforme já descrito. Com os dados obtidos, foram determinadas as seguintes variáveis de desempenho: ganho de peso absoluto (GPA), ganho de peso relativo (GPR), ganho de comprimento absoluto (GCA), ganho de comprimento relativo (GCR), fator de condição (K), ganho de peso diário médio (GPD), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de sobrevivência (S), ganho de biomassa ou biomassa líquida (B) e conversão alimentar (CA), as quais foram determinadas por meio das equações relacionadas a seguir:

$$\text{GPA (g)} = \text{Pf} - \text{Pi} \quad (1)$$

$$\text{GPR (\%)} = [(\text{Pf}/\text{Pi}) - 1] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{GCA (g)} = \text{Cf} - \text{Ci} \quad (3)$$

$$\text{GCR (\%)} = [(\text{Cf}/\text{Ci}) - 1] \times 100 \quad (4)$$

$$K = \frac{W}{L^b} \quad (5)$$

$$GPD \text{ (g dia}^{-1}\text{)} = \frac{Pf - Pi}{t} \quad (6)$$

$$TCE \text{ (% dia}^{-1}\text{)} = \frac{(\ln Pf - \ln Pi) \times 100}{t} \quad (7)$$

$$S \text{ (%) } = \frac{Nf}{Ni} \times 100 \quad (8)$$

$$B \text{ (g)} = Nf \times (Pf - Pi) \quad (9)$$

$$CA = \frac{Qro}{(Pf - Pi) \times Nf} \quad (10)$$

Em que: Pf = peso médio dos peixes (g) no final do experimento.

Pi = peso médio dos peixes (g) no início do experimento.

Cf = comprimento médio dos peixes (g) no final do experimento.

Ci = comprimento médio dos peixes (g) no início do experimento.

W= peso corporal (g).

L = comprimento total (cm).

b = coeficiente angular da relação peso/comprimento.

t = duração do cultivo, em dias.

*ln* = log neperiano.

Nf = número de peixes no final do experimento.

Ni = número de peixes no início do experimento.

Qro = quantidade de ração ofertada (g).

#### 4.2.4.2. Qualidade da água

Durante o período experimental, foi feito monitoramento físico-químico da água dos tanques pela manhã (06h00min) e a tarde (14h00min). Para tanto, leituras *in loco* ou coletas de amostras de água com garrafas plásticas foscas foram realizadas a 50 cm de profundidade da superfície, sempre na mesma sequência (do primeiro ao vigésimo quarto tanque).

*In loco* foram determinadas as seguintes variáveis limnológicas: oxigênio dissolvido (mg L<sup>-1</sup> e % saturação) e temperatura (°C), com o auxílio de oxímetro polarográfico digital portátil modelo YSI, F-1550A; pH (unidade padrão), com medidor de pH digital portátil

modelo PE F-1002; condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), com condutivímetro digital portátil modelo F-1000; turbidez (NTU), com turbidímetro digital portátil modelo TN 100; transparência (cm), com disco de Secchi, ressaltando-se que a determinação da transparência não ocorreu à profundidade anteriormente especificada (50 cm), pois é diretamente relacionada à mesma. As datas das coletas foram 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11/2008, obedecendo a uma frequência mensal, que corresponderam respectivamente aos 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo de tilápias nos tanques; a coleta do dia 03/09/2008 foi antecipada para se registrar a qualidade da água antes do início da mortalidade total das repetições do tratamento D2V1.

As seguintes variáveis limnológicas foram determinadas no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba: nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e amônia ionizada –  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), por espectrofotometria conforme descrito por Golterman et al. (1978), Mackereth et al. (1978) e Koroleff (1976) respectivamente; ortofosfato –  $\text{PO}_4^{2-}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), por colorimetria pelo método da APHA (1995); alcalinidade total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e gás carbônico –  $\text{CO}_2$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), por titulação com ácido clorídrico segundo metodologia descrita por Felföldy et al. (1987) e por Golterman et al. (1978), respectivamente; clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), por espectrofotometria de acordo com Nusch (1988). Para essas variáveis as datas de monitoramento foram 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11/2008 de forma que, de julho a setembro, quando os efluentes dos tanques de cultivo dos peixes estavam sendo utilizados para irrigar a cultura do feijão-caupi, as análises foram quinzenais. Com o término do ciclo da cultura do feijão no dia 30/09/2008, as coletas passaram a ser mensais. Esses dados serviram para definir a qualidade da água para o cultivo de tilápias e caracterizar o potencial de produção de nutrientes a partir dos diversos tratamentos.

### **4.3. Cultivo do feijão-vigna**

#### **4.3.1. Área experimental**

O solo da área cultivada com feijão-caupi é o característico da UEP-Parnaíba já descrito anteriormente. A área, com dimensões de 20 m x 80 m, estava em pousio há 5 anos, cuja última cultura a ocupar essa área foi a mandioca. Aos 50 dias antes da semeadura, foram coletadas, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, amostras compostas de solo em 20 diferentes pontos do terreno. As operações de aração, gradagem e calagem, com aplicação de 100 kg de calcário dolomítico ( $0,625 \text{ t ha}^{-1}$ ), foram realizadas 45 dias antes da semeadura. Os

resultados das análises químicas de solo, realizadas no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba, de acordo com metodologias descritas por Silva (1999), estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Características químicas do solo da área experimental.

Característica	Unidade	Profundidade (cm)	
		0 a 20	20 a 40
Matéria Orgânica	g kg <sup>-1</sup>	5,37	1,15
pH	-	6,42	6,14
Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>	6,60	3,20
Potássio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,12	0,07
Cálcio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,08	0,66
Magnésio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,42	0,27
Sódio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,01	0,01
Alumínio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	0,05
Hidrogênio + Alumínio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,94	1,39
Soma das bases	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,63	1,01
CTC	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,57	2,40
V	%	63,41	42,15
m	%	0,00	4,72

#### 4.3.2. Fatores estudados e delineamento experimental

No experimento com feijão-caupi, foram estudados dois tipos de água utilizados na irrigação (A0 e A1) e quatro doses de fertilizantes químicos (F1, F2, F3 e F4), combinados entre si. Na definição das doses de fertilizantes químicos, foram consideradas as recomendações de adubações feitas por Melo et al. (2005) e a análise de solo da área. A recomendação para adubação foi: 20 kg de N ha<sup>-1</sup> (72 g de ureia linha<sup>-1</sup>), 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (355,2 g de superfosfato simples linha<sup>-1</sup>) e 30 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (80 g de cloreto de potássio linha<sup>-1</sup>). Em razão de a atividade piscícola produzir, principalmente, nitrogênio e fósforo, a variação das quantidades de nutrientes fornecidas à cultura do feijão-caupi ocorreu em relação aos fertilizantes nitrogenado e fosfatado. Os tratamentos ficaram assim distribuídos:

A0: água do sistema de irrigação da UEP-Parnaíba (água bruta).

A1: efluente da piscicultura (água biofertilizada).

F1: 100 % da adubação (NPK) requerida na forma de adubo químico.

F2: 66 % da adubação de F1 (nitrogênio e fósforo).

F3: 33 % da adubação de F1 (nitrogênio e fósforo).

F4: sem adubação química com nitrogênio e fósforo (utilização apenas do potássio).

A combinação dos fatores resultou em oito tratamentos: A0F1, A0F2, A0F3, A0F4, A1F1, A1F2, A1F3 e A1F4.

As diferentes quantidades de superfosfato simples (355,2 g linha<sup>-1</sup>, 234,4 g linha<sup>-1</sup>, 117,2 g linha<sup>-1</sup> e 0 g linha<sup>-1</sup> em F1, F2, F3 e F4 respectivamente) foram distribuídas na fundação em conjunto com os micronutrientes (FTE BR 12 – 16 g linha<sup>-1</sup>), enquanto as de ureia (72,0 g linha<sup>-1</sup>, 47,5 g linha<sup>-1</sup>, 23,8 g linha<sup>-1</sup> e 0 g linha<sup>-1</sup> respectivamente em F1, F2, F3 e F4) e as de cloreto de potássio (quantidade igual para todos os tratamentos) foram distribuídas por meio da técnica de fertirrigação. As fertirrigações foram realizadas a cada três dias, até o 45º. dia após a germinação (DAG) com o fertilizante nitrogenado junto com o potássico e até o 52º. DAG apenas com o cloreto de potássio (inclusive no tratamento F4). A distribuição porcentual do nitrogênio (N) e do potássio (K<sub>2</sub>O), ao longo do ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi, foi ajustada a partir dos dados dos coeficientes de cultivo (Kc) determinados por Bastos et al. (2006 b) e encontra-se exposta na Tabela 4.

**Tabela 4.** Distribuição do nitrogênio (N) e do potássio (K<sub>2</sub>O) durante o ciclo do feijão-caupi. 2008.

Período (DAG)	1 - 7 dias	8-14 dias	15-21 dias	22-28 dias	29-35 dias	36-42 dias	43-49 dias	50-52 dias
Coeficiente de cultivo (Kc)	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	1,1	1,25	1,1
Nitrogênio (%)	3	9	9	15	30	20	14	-
Potássio (%)	2	5	8	10	20	30	20	5

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais (Figura 3). A parcela útil foi constituída por duas linhas de plantas centralizadas de 20 m (200 plantas), sendo considerada bordadura as cinco plantas do início e as cinco plantas do final de cada linha, totalizando 180 plantas úteis. A separação entre as unidades experimentais e a área externa foi feita por uma linha de bordadura única. A área de cada linha de cultivo correspondeu a 16 m<sup>2</sup>.

#### 4.3.3. Cultivar e manejo da cultura

A cultivar de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) utilizada no experimento foi a 'BRS Guariba', resultado do Programa de Melhoramento Genético da Embrapa Meio-Norte, em conjunto com o International Institute of Tropical Agriculture (IITA). A cultivar tem hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, tipo de folha globosa, teor de proteína

nos grãos de 22,1 %, classe e subclasse comercial branca, ciclo de 65 a 70 dias (precoce), 41 dias para a floracão, comprimento da vagem de 17,8 cm, 12 grãos por vagem, nível de inserção das vagens acima das folhas, forma da semente arredondada, peso de 100 grãos de 19,5 g, moderadamente tolerante a veranicos e a altas temperaturas (FREIRE FILHO et al., 2004).

Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV
A <sub>0</sub> F <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>4</sub>
A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>3</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>4</sub>
A <sub>0</sub> F <sub>3</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>1</sub>
A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>
A <sub>0</sub> F <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>4</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>2</sub>
A <sub>0</sub> F <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>3</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>3</sub>
A <sub>1</sub> F <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>3</sub>
A <sub>1</sub> F <sub>4</sub>	A <sub>0</sub> F <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>

**Figura 3.** Distribuição dos tratamentos na área experimental.

A0: água do sistema de irrigação da UEP-Parnaíba (água bruta); A1: efluente da piscicultura (água biofertilizada); F1: 100 % da adubação (NPK) requerida na forma de adubo químico; F2: 66 % da adubação de F1 (nitrogênio e fósforo); F3: 33 % da adubação de F1 (nitrogênio e fósforo); F4: sem adubação química com nitrogênio e fósforo (utilização apenas do potássio).

A área de cultivo foi preparada com uma aração e uma gradagem leve. A semeadura ocorreu dia 31/07/2008, com germinação de mais de 95 % no dia 03/08/2008. O espaçamento utilizado foi 0,8 m entre linhas e após a germinação foi realizado desbaste, deixando-se cinco plantas por metro linear (0,20 m entre plantas), resultando em 100 plantas por linha lateral, com um total de 10.000 plantas na área experimental. As plantas receberam os mesmos tratos culturais e fitossanitários, de acordo com as necessidades de controle de ervas daninhas, pragas e doenças. Foram utilizados os seguintes produtos químicos de forma preventiva: abamectina (controle da mosca minadora e pulgão), acetamiprid (controle da mosca branca) e acefato (controle da cigarrinha).

#### 4.3.4. Irrigação

A irrigação do feijão-caupi foi feita com dois tipos de água: água do reservatório utilizado nos sistemas de irrigação da Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba, chamada de água bruta e identificada pelo símbolo A0; água do reservatório que recebia a descarga dos efluentes dos 24 tanques de cultivo dos peixes, denominada de efluentes da piscicultura ou água biofertilizada e identificada pelo símbolo A1.

A cultura foi irrigada por gotejamento, utilizando-se tubo gotejador de parede fina, com emissores espaçados de 0,3 m ao longo da linha lateral e uma linha lateral por fileira de plantas. As linhas laterais, com diâmetro interno de 16 mm, foram curtas (20 m) propiciando pequena perda de carga e baixa variação da vazão dos emissores ao longo da mesma. Foram utilizadas 100 linhas laterais. As linhas de derivação foram de polietileno DN 20, com comprimento variando de acordo com a distribuição dos tratamentos na área experimental. Cada linha de derivação abastecia um tratamento.

Para um melhor controle da água aplicada no experimento, foram utilizados dois sistemas de irrigação e consequentemente dois cabeçais de controle. O cabeçal de controle para as unidades experimentais irrigadas com a água A0 foi constituído de um filtro de disco com capacidade de  $15,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (120 mesh), hidrômetro, ponto de injeção de fertilizantes para acoplamento de bomba injetora de acionamento hidráulico, manômetro, registro de esfera geral e quatro registros para o controle da aplicação de fertilizantes (tratamentos). No cabeçal de controle para as unidades experimentais irrigadas com a água A1, em razão de uma carga de resíduos elevada, que provocava rápido entupimento do elemento filtrante, foram utilizados dois filtros em paralelo com capacidade de  $15,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  cada. Os outros equipamentos foram os mesmos descritos anteriormente.

Uma semana após a instalação, foram realizadas avaliações hidráulicas dos dois sistemas de irrigação, utilizando-se a metodologia de Denículi e Bernardo (BERNARDO, 1989). O sistema que usava a água A1 apresentou vazão média dos emissores de  $1,19 \text{ L h}^{-1}$  e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) igual a 81,51 %, enquanto no sistema abastecido com a água A0, a vazão média foi  $1,64 \text{ L h}^{-1}$  e CUD igual a 94,45 %. A diferença de valores foi em virtude de o potencial de entupimento ser maior no sistema que usava o efluente da piscicultura (A1), entretanto, no manejo diário do tempo de irrigação, essas diferenças foram minimizadas. Para os dois tipos de água, a pressão de serviço foi 100 kPa.

O manejo da irrigação foi controlado por meio de planilhas de irrigação baseadas na evapotranspiração potencial diária da região, conforme definida pela equação de Penman-

Monteith/FAO. As planilhas foram confeccionadas, utilizando-se a metodologia de cálculo para a determinação das necessidades hídricas de culturas conduzidas com sistema de irrigação localizada, proposta por Vermeiren e Jobling (1986). Os coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura utilizados no manejo foram os determinados por Bastos et al. (2006b) para a região de realização do experimento. A eficiência ( $K_s$ ) do solo em armazenar água foi considerada de 91 % para o tipo de solo trabalhado (VERMEIREN E JOBLING, 1986) e foi utilizada juntamente com o CUD, determinado no campo para definição da eficiência global de aplicação de água ( $E_a$ ).

#### **4.3.5. Análise da água e do efluente**

Ao longo do cultivo do feijão-caupi, foram realizadas seis amostragens das águas utilizadas na irrigação para se conhecerem as concentrações de cátions e ânions e de compostos nitrogenados e fosfatados, pH e condutividade elétrica (CE). As amostras foram coletadas no reservatório utilizado no sistema de irrigação da UEP-Parnaíba (A0) e no reservatório que recebia os efluentes da piscicultura (A1). As coletas foram realizadas a cada dez dias e, para a determinação das concentrações de cátions e ânions, foram utilizadas as metodologias descritas por Silva (1999). As determinações das concentrações de nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ), amônia ( $\text{mg L}^{-1}$ ), ortofosfato ( $\text{mg L}^{-1}$ ), pH (unidade padrão) e condutividade elétrica – CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) foram realizadas seguindo metodologia já descrita anteriormente. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio Norte/UEP-Parnaíba.

#### **4.3.6. Variáveis Avaliadas**

##### **4.3.6.1. Análise de crescimento das plantas**

A partir do dia 21/08/2008 até o dia 25/09/2008, foram retiradas semanalmente duas plantas da segunda linha da parcela útil de cada unidade experimental. As plantas foram coletadas de maneira intercalada, fazendo que a próxima a ser coletada continuasse em plena competição dentro da linha, entre duas plantas vizinhas. As plantas foram coletadas na seguinte sequência: 6ª. e 32ª. planta (1ª. coleta); 8ª. e 30ª. planta (2ª. coleta); 10ª. e 28ª. planta (3ª. coleta); 12ª. e 26ª. planta (4ª. coleta); 14ª. e 24ª. planta (5ª. coleta); e 16ª. e 22ª. planta (6ª. coleta). Logo após a coleta, as plantas foram encaminhadas ao Laboratório de Produtos



Vegetais da UEP-Parnaíba e divididas nas suas várias partes. Para determinar os efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento da cultura, tanto vegetativamente como nutricionalmente, foram analisadas as seguintes variáveis:

- Número de folhas: as folhas das duas plantas foram separadas e contadas manualmente.

- Área foliar: a área foliar das duas plantas (todas as folhas) foi determinada com auxílio do medidor integrador automático modelo LI-3100 (LI-COR, inc., Lincoln, Nebraska, EUA), calibração 10 cm<sup>2</sup>, e o resultado dado em cm<sup>2</sup>.

- Matéria seca: as plantas foram lavadas em água corrente e, após a separação das suas diversas partes (ramos, caule, folhas, flores e vagens), foi realizado o acondicionamento em sacos de papel e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a  $65 \pm 5$  °C, por um período de 72 horas, até atingirem massa constante. Foi utilizada balança com precisão de 0,01g para a determinação da matéria seca das diversas partes das plantas, cuja matéria seca total resultou da soma das massas secas dessas partes.

- Índice de área foliar (IAF): definido como a relação entre a área foliar da planta e a área efetivamente explorada por ela no terreno cultivado.

- Taxa de crescimento da cultura (TCC): representa a quantidade total de matéria seca acumulada no intervalo entre duas amostragens.

- Taxa de crescimento relativo (TCR): representa o incremento de matéria seca da planta em razão do incremento no tempo de desenvolvimento da cultura entre duas amostragens consecutivas.

- Taxa de assimilação líquida (TAL): representa a taxa de fotossíntese líquida em razão da matéria seca produzida, da área foliar e do tempo.

- Razão de área foliar (RAF): representa a relação entre a área foliar e a matéria seca total produzida.

Todas as determinações de índices e taxas acima foram realizadas de acordo com metodologia proposta por Benincasa (1988).

#### **4.3.6.2. Análise da produção da cultura**

Para a avaliação do desempenho produtivo da cultura do feijão-caupi, de acordo com Andrade Júnior et al. (2005a), foram observados os seguintes componentes: comprimento da vagem verde e seca (CVV e CVS), peso de 100 grãos (PCG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), relação grão/vagem (G/V) e produtividade de

grãos verdes e secos (PVV e PVS), este último com 13 % de umidade nos grãos. Os dados de produção de grãos verdes foram obtidos da metade da segunda linha da parcela útil (45 plantas úteis), enquanto os dados de grãos secos foram obtidos da primeira linha (90 plantas úteis). As colheitas de grão verde foram realizadas dias 22, 24 e 26 de setembro (51, 53 e 55 DAG) e a colheita única de grão seco ocorreu dia 8 de outubro (67 DAG). Os dados de comprimento da vagem foram resultado da média de dez vagens escolhidas aleatoriamente em cada repetição e em cada colheita. Os valores do peso de 100 grãos foram obtidos pela média de cada colheita. O número de grãos por vagem foi obtido pela média de dez vagens em cada colheita.

#### **4.3.6.3. Análise química do tecido vegetal**

Para a determinação dos teores de nutrientes presentes nas folhas, nas diversas fases de desenvolvimento da cultura, foi utilizada a metodologia recomendada por Silva (1999). Os nutrientes analisados foram N, P, K, Ca e Mg. A partir dos resultados, foi possível avaliar o estado nutricional da cultura e o acúmulo de nutrientes ao longo do ciclo.

O material utilizado foi o mesmo para a determinação da matéria seca das folhas, o qual, após a pesagem, foi levado ao moinho de facas de aço inoxidável para uma melhor homogeneização. As amostras moídas foram armazenadas em sacos plásticos e analisadas no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI.

#### **4.3.6.4. Análise química do solo no final do experimento**

Após a colheita final da cultura e em todas as unidades experimentais, foram coletadas amostras compostas (cinco pontos na linha lateral) de solo na profundidade de 0-20 cm. A metodologia de análise foi de acordo com Silva (1999), e os resultados das análises embasaram uma comparação das características químicas do solo, antes e após a aplicação dos tratamentos, no cultivo do feijão-caupi.

#### **4.4. Análise estatística**

O conjunto de dados obtidos para as variáveis observadas nos experimentos de criação de peixe e cultivo do feijão-caupi foi submetido à análise de variância, adotando-se um nível de significância de 5 % para o teste F. Com o mesmo nível de probabilidade, adotou-se o teste

de Duncan para a comparação das médias (SANTOS e GHEYI, 2003). Como ferramenta de análise, foi utilizado o software SAS - Statystical Analyses System (SAS, 1996).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Qualidade da água de irrigação e do efluente

As concentrações de cátions e ânions na água de irrigação da UEP-Parnaíba (A0) e no efluente gerado pela piscicultura (A1) não apresentaram diferenças significativas entre os diversos parâmetros analisados, conforme pode ser observado na Tabela 5. Foi determinada uma razão de adsorção de sódio (RAS) média de  $1,91 \pm 0,15$  e  $2,20 \pm 0,15$  para as águas A0 e A1 respectivamente. Esses resultados estão de acordo com o encontrado por Miranda et al. (2007) em trabalho com efluente da carcinicultura na cultura do arroz.

**Tabela 5.** Valores médios de cátions e anions das águas da UEP-Parnaíba e do efluente da tilapicultura.

Parâmetro	Unidade	Fonte de água	
		UEP-Parnaíba (A0)	Efluente (A1)
K <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$0,13 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,010$
Ca <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$0,51 \pm 0,037$	$0,60 \pm 0,164$
Mg <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$0,70 \pm 0,158$	$0,65 \pm 0,075$
Na <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$1,48 \pm 0,044$	$1,74 \pm 0,113$
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$0,11 \pm 0,033$	$0,11 \pm 0,033$
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	0,00
Cl <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$1,97 \pm 0,180$	$1,99 \pm 0,169$

Os compostos nitrogenados determinados na água de irrigação da UEP-Parnaíba (A0) apresentaram concentrações significativamente diferentes das concentrações encontradas no efluente da tilapicultura (A1) (Tabela 6). Esse resultado mostra que a quantidade de nitrogênio fornecida à cultura do feijão-caupi durante o experimento foi maior nos tratamentos irrigados com o efluente. Miranda et al. (2007) não encontraram diferenças significativas nas concentrações dos compostos nitrogenados, nas amostras de água do Rio Jaguaribe e do efluente da carcinicultura, em trabalho com as culturas do arroz e melão.

Na Tabela 6, também é mostrado que não houve diferenças significativas nas concentrações de ortofosfato, pH e CE, nas duas águas de irrigação (A0 e A1). A CE e o pH foram diferentes no trabalho de Miranda et al. (2007), nas culturas do arroz e melão respectivamente.

**Tabela 6.** Caracterização dos nutrientes das águas da UEP-Parnaíba (A<sub>0</sub>) e do efluente da tilapicultura (A<sub>1</sub>) durante ciclo de produção do feijão.

Parâmetro	Unidade	Fonte de água		Diferença (A1 – A0)
		A1	A0	
Nítrito (a)	mg L <sup>-1</sup>	0,10	0,02	0,08*
Nitrato (b)	mg L <sup>-1</sup>	1,05	0,16	0,89*
Amônia (c)	mg L <sup>-1</sup>	0,06	0,02	0,04*
Soma (a+b+c)	mg L <sup>-1</sup>	1,21	0,20	1,01*
Ortofosfato	mg L <sup>-1</sup>	0,11	0,04	0,07 <sup>ns</sup>
pH	-	7,43	7,31	0,12 <sup>ns</sup>
CE	dS m <sup>-1</sup>	0,25	0,19	0,07 <sup>ns</sup>

\* Significativo a 5 % de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

## 5.2. Desenvolvimento do cultivo de tilápia

Os valores obtidos para o peso médio dos peixes durante o experimento são apresentados na Tabela 7. Os peixes foram distribuídos de maneira aleatória nos tanques e seus pesos apresentaram diferenças já na primeira biometria. Os peixes do tratamento D2V3 tinham o menor peso médio (46,49 g) e os do tratamento D1V3 o maior (51,45 g). Essa diferença de menos de 5 g, que resultou em coeficientes de variação (CV) entre 21,0 % e 35,8 % (dentro de cada tanque), é atribuída à dificuldade de se obter lotes de peixes de tamanhos homogêneos, característica essa intrínseca aos peixes (BARBOSA et al., 2006; LIMA, 2008).

Até os 28 dias de cultivo, o peso dos peixes não apresentou efeito relacionado aos tratamentos, levando a dizer que tilápias estocadas com 49 g a 50 g podem ser cultivadas nos primeiros 28 dias, em qualquer uma das condições testadas. Mediante essa afirmativa, são mais recomendadas a densidade de 56 peixes m<sup>-3</sup> e a taxa de renovação de água de 200 % dia<sup>-1</sup> por resultarem em menor consumo de água e maior biomassa.

Diferenças significativas entre tratamentos foram registradas apenas a partir dos 56 dias do início do experimento. Nesse período, observou-se que a taxa de renovação de água não teve efeito sobre o desenvolvimento dos peixes na densidade D1, entretanto, na densidade D2, o efeito foi marcante e tornou-se mais evidente a partir dos 64 dias de cultivo, quando no tratamento D2V1 teve início grande mortalidade, culminando por dizimar toda a população

aos 76 dias de cultivo. Pelos resultados, a renovação da água nos tanques foi o fator limitante para um melhor desenvolvimento dos peixes na maior densidade.

**Tabela 7.** Peso médio (g) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques<sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Peso corporal (g) – período de cultivo					
	0 dia	28 dias	56 dias	84 dias	112 dias	140 dias
D1V1	49,08a	134,42a	283,35ab	439,15bc	576,72b	707,13bc
D1V2	49,55a	131,50a	280,41ab	476,98a	625,79a	789,50a
D1V3	51,45a	134,14a	279,38ab	484,07a	621,15a	791,79a
D1V4	49,47a	139,15a	282,93ab	467,11ab	599,11ab	742,05ab
D2V1	48,81a	130,29a	262,83bc	-	-	-
D2V2	50,86a	131,04a	252,46c	380,33d	488,74c	583,42e
D2V3	46,49a	132,37a	271,48abc	423,20c	565,48b	637,18d
D2V4	50,53a	132,04a	291,70a	429,07c	572,72b	663,42cd
CV (%)	27,26	27,48	26,35	23,47	25,74	22,56

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan.

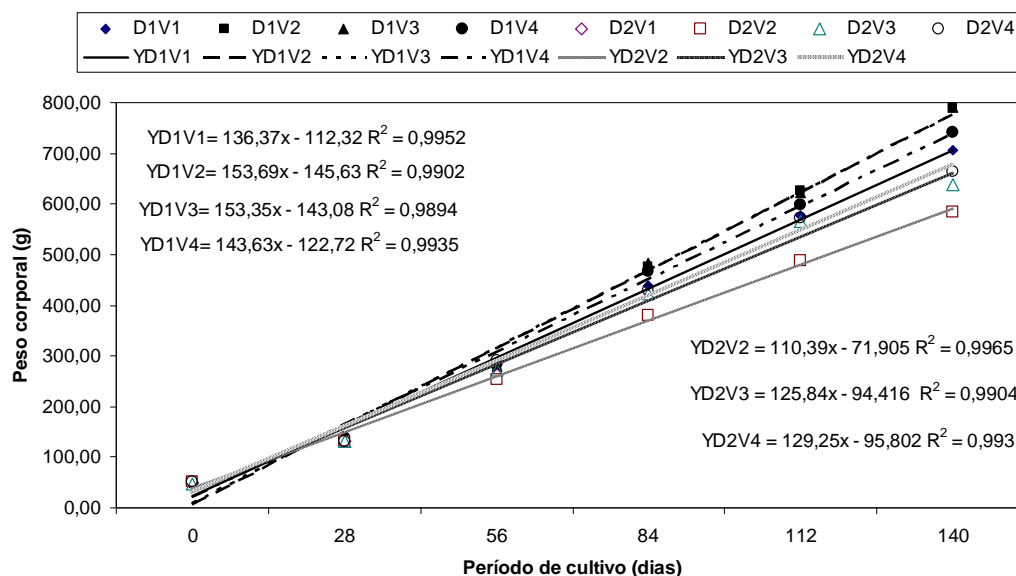
<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. CV coeficiente de variação.

Nas biometrias realizadas aos 84, 112 e 140 dias de cultivo, pôde-se observar a consolidação do efeito da densidade e renovação de água. Aos 84 dias, os pesos médios mais elevados foram registrados para peixes estocados em menor densidade e mantidos em tanque com maiores taxas de renovação de água (variando entre 439,15 g no D1V1 e 484,07 g no D1V3). Aos 112 dias, o efeito da densidade só não foi observado entre peixes da D1V4 (599,11 g) e D2V4 (572,72 g). Pôde-se observar nesse período que a renovação de água influenciou apenas o peso dos peixes dos tratamentos D1V1 e D2V2, cujos valores (576,72 g e 488,74 g respectivamente) foram inferiores aos dos demais tratamentos.

Com densidades e taxas de renovação de água influenciando o peso dos peixes no período final do cultivo, observou-se que os maiores pesos ocorreram para peixes do D1V3 (791,79 g), D1V2 (789,50 g) e D1V4 (742,05 g). O mais baixo peso registrado para peixes do D1V1 (707,13 g) foi comparável àquele do D2V4 (663,42 g).

Na Figura 4, é possível acompanhar a curva de crescimento em peso da tilápia ao longo do ciclo de cultivo (140 dias). Os peixes apresentaram crescimento linear positivo em relação ao período de cultivo, merecendo destaque os peixes submetidos aos tratamentos D1V2 e D1V3 já a partir dos 84 dias de cultivo. Em termo de crescimento relativo (Tabela 8), os peixes desses dois tratamentos atingiram índices de crescimento em peso da ordem de 1.493,26 % e 1.438,88 %, respectivamente, contra 1.047,16 % do D2V2, onde se obtiveram os piores resultados. Do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, pode-se dizer que o

tratamento D1V2 é melhor uma vez que proporcionou menor consumo de água para produzir peixes com peso médio de 789,5 g em 140 dias de cultivo.



**Figura 4.** Curva de crescimento em peso (g) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

**Tabela 8.** Índices de crescimento absoluto e relativo do peso corporal (g) para a tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.

Tratamento <sup>1</sup>	Ganho de peso corporal	
	Absoluto (g peixe <sup>-1</sup> 140 dias <sup>-1</sup> )	Relativo (% peixe <sup>-1</sup> 140 dias <sup>-1</sup> )
D1V1	658,05 ± 73,67	1.340,68 ± 116,22
D1V2	739,95 ± 22,46	1.493,26 ± 80,72
D1V3	740,34 ± 84,13	1.438,88 ± 140,45
D1V4	692,58 ± 28,04	1.399,85 ± 27,80
D2V1	-	-
D2V2	532,56 ± 25,89	1.047,16 ± 30,66
D2V3	590,69 ± 60,57	1.270,49 ± 270,32
D2V4	612,89 ± 36,47	1.212,82 ± 32,82

<sup>1</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

O efeito das densidades de estocagem sobre o peso das tilápias, ao longo do ciclo de cultivo, está de acordo com Gontijo et al. (2008), que observaram uma redução linear significativa no desempenho produtivo da tilápia, à medida que se elevou a densidade de estocagem. Conforme os autores, as diferenças começaram a se manifestar após os peixes

terem atingido peso médio de 250 g, indicando que a partir desse tamanho a competição por espaço, no momento da alimentação, passa a restringir o seu crescimento.

Os pesos médios registrados para tilápia no presente estudo foram maiores que os encontrados por Neves et al. (2008) para duas linhagens de tilápia (Bouaké e Chitralada), mantidas durante 279 dias em tanques de concreto de 4.500 L. Conforme dados dos autores os pesos inicial e final para linhagem Bouaké foram, respectivamente, 0,77 g e 153,00 g, enquanto para linhagem Chitralada foram 1,29 g e 183,35 g.

Comparação feita com os dados do trabalho de Moraes (2008) indica melhor evolução do peso médio dos peixes no presente experimento. Os valores de peso inicial e peso final apresentados pelo autor, para um período de cultivo de 84 dias, foram 48,00 g e 436,07 g, enquanto os valores do presente experimento foram 49,53 g (peso inicial) e peso médio variando de 380,33 g a 484,07 g nesse mesmo período de tempo. Silva et al. (2002), em cultivo de tilápia (peso inicial de 20 g), com ciclo de 128 dias, no sistema *raceway*, observaram que o peso final foi superior na maior renovação de água e menor densidade, com valor médio igual a 585,95 g.

No tocante ao comprimento total, os peixes no início do experimento apresentaram menor variabilidade para essa variável do que para o peso corporal, resultando em baixo coeficiente de variação em cada tanque (5,33 % a 9,30 %) e valores médios muito próximos nos diferentes tratamentos (Tabela 9). Aos 56 dias de cultivo, diferenças significativas entre tratamentos começaram a aparecer. Apesar disso, somente aos 140 dias ocorreu uma melhor definição do efeito dos tratamentos de tal forma que peixes estocados na densidade mais baixa apresentaram maiores valores de comprimento total.

Em termos absoluto e relativo (Tabela 10), é possível observar que o tratamento que proporcionou maiores índices de crescimento foi o D1V3, com valores de 19,01 cm e 141,62 %, respectivamente. Nesse tratamento, o comprimento inicial foi de 13,44 cm e final de 32,45 cm. O tratamento com índices mais baixos foi o D2V2, com valores de crescimento absoluto de 15,76 cm e relativo de 117,49 %. A comparação desses dados com aqueles obtidos para o peso corporal permite inferir que, em termos relativos, o desenvolvimento em comprimento das tilápias é menor que em peso (1.493,26 % e 1.047,16 %).



**Tabela 9.** Comprimento total médio (cm) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques<sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Comprimento (cm) – período de cultivo					
	0 dia	28 dias	56 dias	84 dias	112 dias	140 dias
D1V1	13,34a	18,54a	23,18ab	26,69bc	28,97bc	31,07cd
D1V2	13,25a	18,27a	23,13ab	27,31ab	29,65a	31,94ab
D1V3	13,44a	18,49a	23,11ab	27,52a	29,77a	32,45a
D1V4	13,35a	18,63a	23,36a	27,39a	29,31ab	31,52bc
D2V1	13,28a	18,18a	22,56bc	-	-	-
D2V2	13,42a	18,28a	22,38c	25,26d	27,06d	29,18f
D2V3	13,27a	18,31a	22,90abc	26,23c	28,53c	29,84ef
D2V4	13,48a	18,39a	23,53a	26,49c	28,72bc	30,39de
CV (%)	7,95	8,77	9,10	7,57	8,30	7,65

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. CV – coeficiente de variação.

**Tabela 10.** Índices de crescimento absoluto e relativo do comprimento total para a tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques.

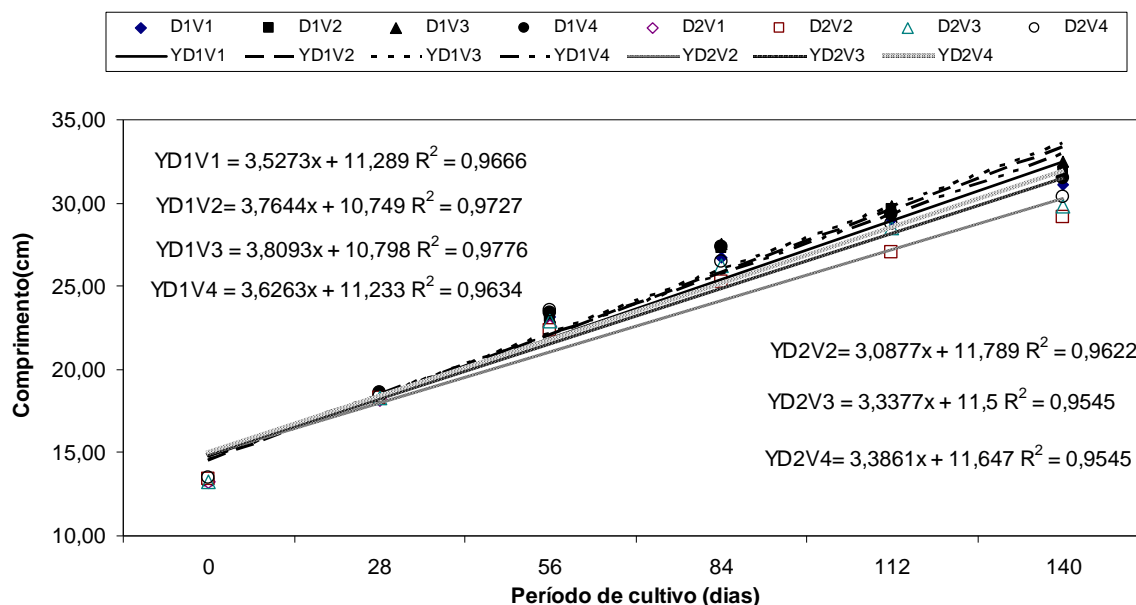
Tratamento <sup>1</sup>	Ganho em comprimento total	
	Absoluto (cm peixe <sup>-1</sup> 140 dias <sup>-1</sup> )	Relativo (% peixe <sup>-1</sup> 140 dias <sup>-1</sup> )
D1V1	17,73 ± 0,54	132,91 ± 3,08
D1V2	18,69 ± 0,47	140,97 ± 4,53
D1V3	19,01 ± 0,98	141,62 ± 6,76
D1V4	18,17 ± 0,23	136,08 ± 2,96
D2V1	-	-
D2V2	15,76 ± 0,39	117,49 ± 2,24
D2V3	16,56 ± 0,97	124,79 ± 8,42
D2V4	16,91 ± 0,43	125,44 ± 2,88

<sup>1</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

As curvas de crescimento em comprimento das tilápias apresentaram um comportamento linear positivo em relação ao período de cultivo em todos os tratamentos (Figura 5). O perfil dos dados mostra que, ao final de 140 dias de cultivo, as menores densidades proporcionaram melhores condições de crescimento em comprimento total para os peixes.

A análise comparativa dos dados leva a dizer que no presente trabalho a tilápia Chitralada superou o crescimento registrado em outros estudos. Neves et al. (2008), em 279 dias de cultivo, registraram respectivos comprimentos inicial e final de 6,33 cm e 19,77 cm para tilápia da linhagem Bouaké e de 7,12 cm e 20,98 cm para tilápia da linhagem Chitralada. Carneiro et al. (1999), em experimento com tilápia vermelha da Flórida, criada em tanques-rede, verificaram ao final de 253 dias comprimento total variando entre 18,49 cm e 19,00 cm,

dependendo da densidade de estocagem. Ressalta-se que o comprimento inicial da tilápia vermelha foi de 10,30 cm e da tilápia Chitralada no presente estudo foi de 13,35 cm.

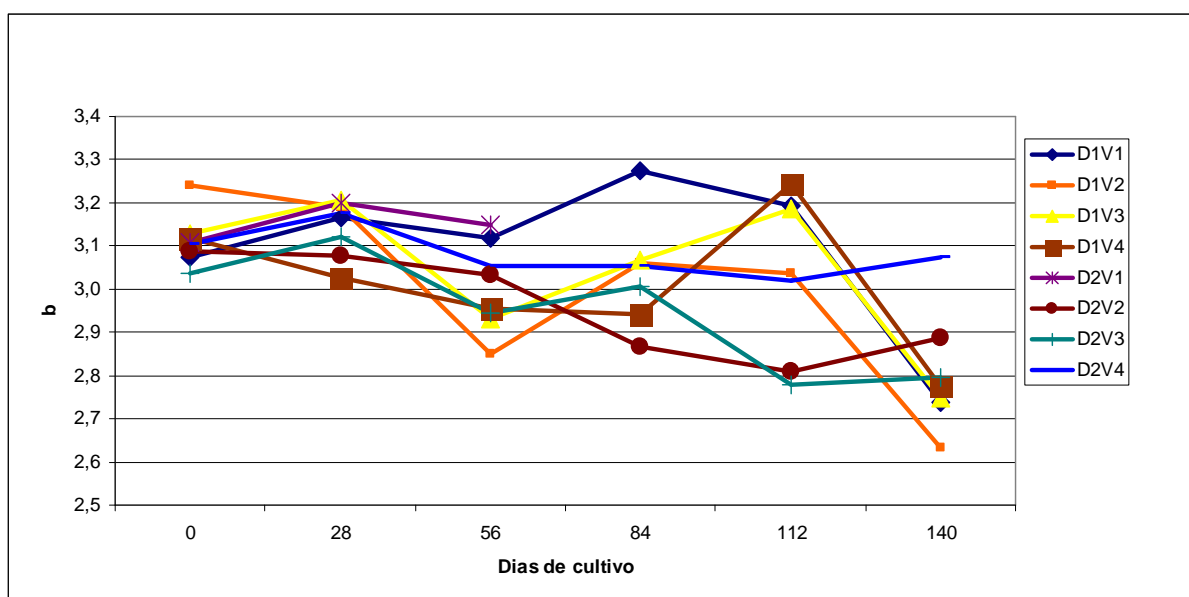


**Figura 5.** Curva de crescimento em comprimento (cm) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes  $m^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $m^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800% de renovação de água  $dia^{-1}$  respectivamente.

O fator de condição (K) é um índice bastante utilizado no estudo da biologia de peixes, pois fornece importantes informações sobre o estado fisiológico desses animais, a partir do pressuposto de que indivíduos com maior massa em um dado comprimento estão em melhores condições de bem-estar (LIMA JÚNIOR e GOITEIN, 2006).

Alguns modelos são empregados para estimar o fator de condição, entre os quais o de Fulton e o alométrico. O modelo de Fulton estima K a partir da fórmula  $K = W L^{-3}$ , em que W representa o peso e L, o comprimento. Essa fórmula tem sido discutida e, conforme citações feitas por Lima Júnior et al. (2002), ela não permite comparar indivíduos com tamanhos distintos uma vez que o uso do expoente 3 não é uma representação real da relação existente entre peso e comprimento para a maioria dos peixes. No modelo alométrico, conforme discutido por Braga (2000), o fator de condição é estimado pela fórmula  $K = W L^{-b}$ , sendo b o coeficiente angular da relação peso/comprimento, que é ajustado pela equação de regressão do tipo  $W = a L^b$ . Esse modelo permite estabelecer comparações entre indivíduos de diferentes tamanhos e foi utilizado para estimar o fator de condição dos peixes amostrados em cada biometria e tratamentos no presente estudo.

Os valores estimados para  $b$ , ficaram entre 2,85 e 3,15 e, ao longo do período estudado (Figura 6), não apresentaram diferenças estatísticas relacionadas com os tratamentos estudados. Segundo Le Cren (1951), *apud* Rocha et al. (1997), os valores de  $b$  para peixes podem ficar entre 2,5 e 4,0. Rocha et al. (*op. cit.*) relatam que, quando o coeficiente de regressão ( $b$ ) é igual a 3,0, a relação entre o peso corporal e o comprimento corporal total indica um crescimento isométrico, isto é, o peso aumenta com o comprimento elevado ao cubo. No entanto, quando  $b$  é menor que 3,0, o incremento é devido ao peso, e quando  $b$  é maior que 3,0, o incremento é relativo ao comprimento.



**Figura 6.** Coeficiente angular da relação peso/comprimento ( $b$ ) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes  $m^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $m^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $dia^{-1}$  respectivamente.

As considerações de Rocha et al. (1997) não corroboram totalmente com o observado no presente estudo já que, em alguns tratamentos e períodos de amostragem, foram registrados valores de  $b$  acima de 3 (em todos os tratamentos aos 28 dias, em D1V1, D2V1, D2V2 e D2V4 aos 56 dias, em D1V1, D1V2, D1V3, D2V3 e D2V4 aos 84 dias, em D1V1, D1V2, D1V3, D1V4 e D2V4 aos 112 dias e em D2V4 aos 140 dias) e, ao longo do cultivo, em todos os tratamentos, o incremento em peso foi muito maior que em comprimento.

Maciel Júnior (2006), trabalhando com tilápia tailandesa na fase juvenil, com peso inicial de 0,838 g e final de 48,589 g, em razão da temperatura, encontrou todos os coeficientes  $b$  superiores a 3, permitindo inferir que a alometria foi positiva. Essa situação é semelhante à obtida na primeira e segunda biometrias do presente experimento. Rocha et al.

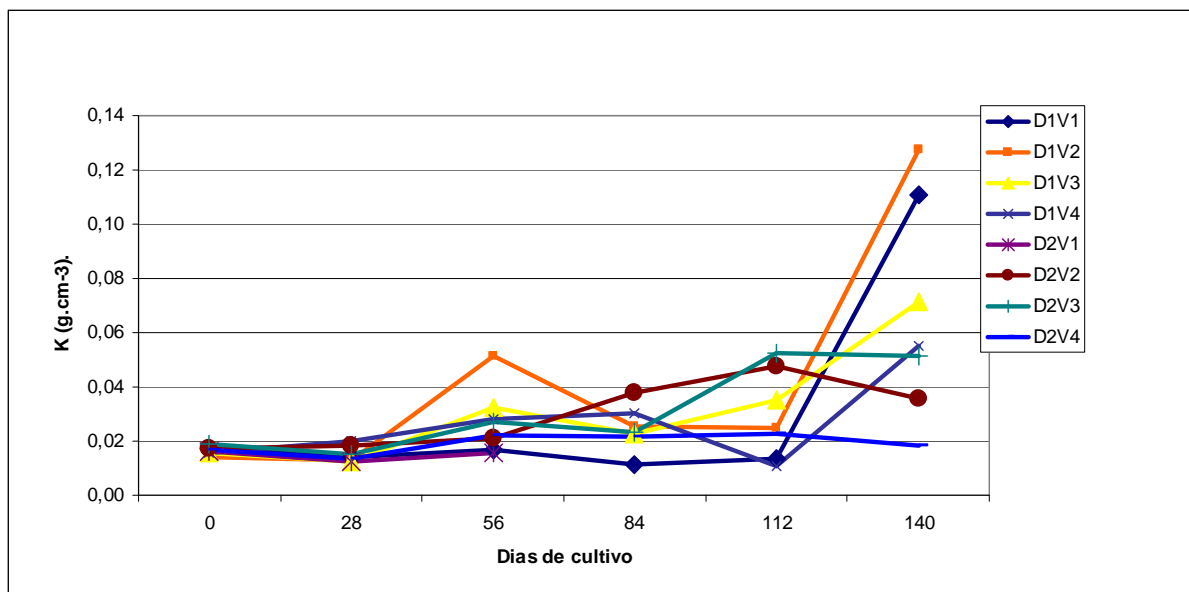
(1997), em estudo com curimbatá (*Prochilodus lineatus*), encontraram  $b = 2,94$  e concluíram que a relação entre o peso e o comprimento foi alométrica negativa.

O fator de condição (K) é um indicador quantitativo do grau de bem-estar momentâneo do peixe (COSTA et al., 2005), sendo considerado que indivíduos de um determinado comprimento, apresentando maior peso, estão em melhores condições (LIMA-JÚNIOR et al., 2002). As variações registradas para K (Figura 7) ficaram entre 0,01261 e 0,1274, e apesar de terem sido observados valores mais elevados de K para o D1V2 (0,0514 g cm<sup>-3</sup>) aos 56 dias de cultivo e entre 0,0185 g cm<sup>-3</sup> (D2V4) e 0,1274 g cm<sup>-3</sup> (D1V2) aos 140 dias de cultivo, a análise estatística não identificou diferenças ( $P > 0,05$ ) que pudessem ser atribuídas a qualquer um dos tratamentos.

Rocha et al. (1997) encontraram para curimbatá (*P. lineatus*) com diferentes idades valores de k alométrico variando de 0,01532 a 0,01735. Para tilápia nilótica (*O. niloticus*), Tavares-Dias et al. (2000) observaram que o fator de condição de indivíduos sadios foi mais alto (0,01150 g cm<sup>-3</sup>) que de indivíduos parasitados (0,00300 g cm<sup>-3</sup>). Trabalhando com tilápia vermelha da Flórida, estocadas em tanques-rede, em diferentes densidades de estocagem, Carneiro et al. (1999) encontraram valores de K entre 0,0402 g cm<sup>-3</sup> e 0,0433 g cm<sup>-3</sup>. Maciel Júnior (2006) expõe que o fator de condição, no seu trabalho, foi reduzido, atingindo o valor mínimo de 0,0052 na temperatura estimada de 26,11 °C, passando a aumentar com a elevação da temperatura a partir desse ponto, indicando que a condição de “bem-estar” das tilápias melhorou a partir de 26,11 °C.

O ganho de peso diário (GPD) mostra a capacidade de crescimento (em peso) dos peixes em um determinado intervalo de tempo. O ganho de peso estimado para o intervalo de tempo compreendido entre 0 e 28 dias, embora tenha variado entre 2,86 g dia<sup>-1</sup> nos peixes do D2V2 e 3,2 g dia<sup>-1</sup> nos peixes do D1V4, não diferiu entre tratamentos ( $P > 0,05$ ). No período entre 28 e 56 dias de cultivo, o ganho diferiu entre tratamentos, sendo menor no D2V2, 3,94 g dia<sup>-1</sup> (Tabela 11).

Entre os 56 e 84 dias, as análises estatísticas apontam os maiores ganhos de peso para os peixes do D1V2 (7,02 g dia<sup>-1</sup>) e D1V3 (7,31 g dia<sup>-1</sup>) e os menores para os peixes do D2V2 (4,57 g dia<sup>-1</sup>) e D2V4 (4,91 g dia<sup>-1</sup>). Nesse intervalo de tempo, foram registrados os maiores valores de ganho de peso. Entre 84 e 112 dias, os ganhos de peso permaneceram sem diferenças entre tratamentos. Entre 112 e 140 dias, as diferenças entre tratamentos foram praticamente as mesmas registradas no intervalo anterior, porém, os ganhos foram mais modestos.



**Figura 7.** Fator de condição alométrico (K) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

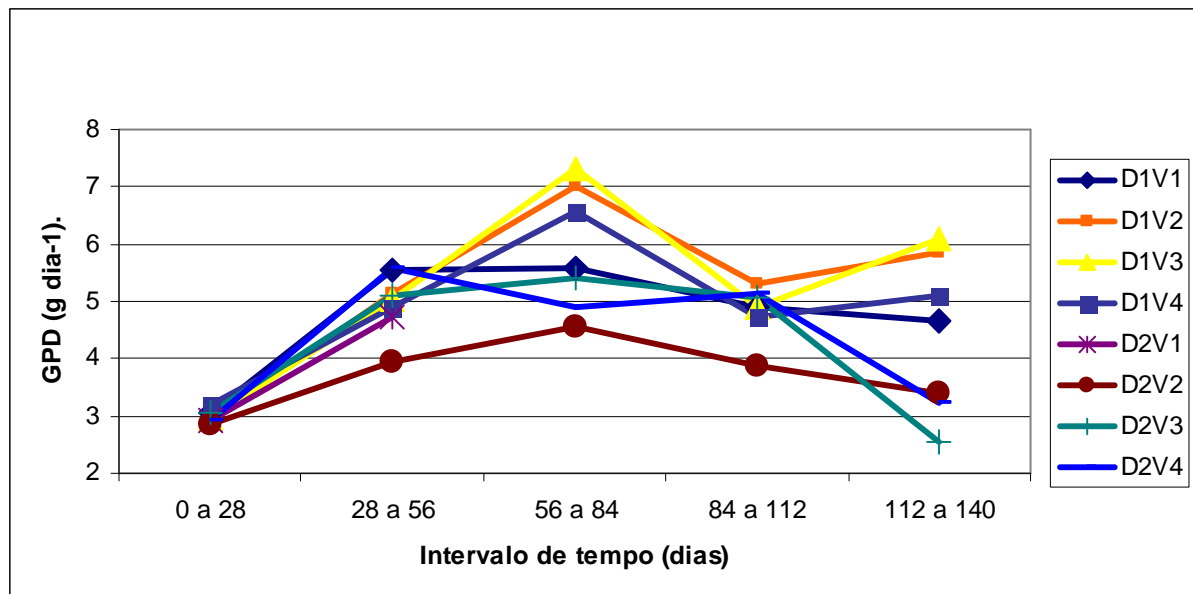
**Tabela 11.** Ganho de peso diário médio (g dia<sup>-1</sup>) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques<sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Ganho de peso (g peixe <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ) nos diferentes intervalos do período experimental				
	0 a 28 dias	28 a 56 dias	56 a 84 dias	84 a 112 dias	112 a 140 dias
D1V1	3,05a	5,56a	5,56bc	4,91a	4,66abc
D1V2	2,93a	5,14a	7,02a	5,31a	5,85a
D1V3	2,95a	5,03a	7,31a	4,90a	6,09a
D1V4	3,20a	4,89a	6,58ab	4,71a	5,11ab
D2V1	2,91a	4,73ab	-	-	-
D2V2	2,86a	3,94b	4,57c	3,87a	3,38bc
D2V3	3,07a	5,11a	5,42bc	5,08a	2,56c
D2V4	2,91a	5,59a	4,91c	5,13a	3,24bc

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

Os dados de GPD apontam melhores ganhos de peso para peixes estocados na D1, sendo o efeito das taxas de renovação menos evidenciado. Esses dados, quando plotados na Figura 8, demonstraram que o desenvolvimento quantitativo dos peixes atingiu seu ápice em torno dos 84 dias de cultivo. Sonoda (2002) conceitua esse ponto como inflexão na curva de crescimento de biomassa crítica, ou seja, ponto no qual os incrementos de ganho de peso passam de crescentes para decrescentes para um mesmo período de tempo.



**Figura 8.** Ganho de peso diário (GPD) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

Moraes (2008), em cultivo experimental de tilápia do Nilo em tanques-rede, durante 84 dias, obteve valores de GPD (4,43 a 5,67 g dia<sup>-1</sup>) menores do que os obtidos para tilápia Chitralada no presente estudo (4,57 a 7,31 g dia<sup>-1</sup>), no intervalo de 56 a 84 dias. Em experimento realizado com tilápias criadas em tanques-rede, durante 130 dias, Sampaio e Braga (2005) registraram valores (4,73 a 5,02 g dia<sup>-1</sup>) comparáveis aos do presente estudo, porém, mais baixos que os registrados no ponto de inflexão da curva para tilápia. O valor médio de GPD obtido por Carneiro et al. (1999) para tilápia vermelha da Flórida foi bem menor (0,92 g dia<sup>-1</sup>), mesmo em comparação com os piores resultados registrados no presente estudo (2,91 g dia<sup>-1</sup> para os peixes do D2V4 aos 28 dias e 2,56 g dia<sup>-1</sup> para os peixes do D2V3 aos 140 dias). Siddiqui et al. (1991), trabalhando com alevinos de tilápia estocados em tanques de concreto de 3,75 m<sup>3</sup>, densidade de 64 peixes m<sup>-3</sup>, durante 98 dias, observaram que o melhor crescimento dos peixes foi obtido com uma taxa de fluxo contínuo de 11 L min<sup>-1</sup> por kg de biomassa (400 % de renovação diária), com ganho de peso diário (GPD) de 1,06 g dia<sup>-1</sup> e taxa de crescimento específico (TCE) de 1,80. O pior crescimento (0,7 g dia<sup>-1</sup> – GPD e 1,46 – TCE) ocorreu quando a água dos tanques foi trocada a cada 24 horas.

A TCE é um índice que descreve o crescimento relativo dos peixes (em peso), baseado no logaritmo natural, em um determinado período de tempo. O intervalo de tempo considerado, assim como para o GPD, também foi de 28 dias.

No primeiro intervalo (0 a 28 dias), a análise estatística detectou TCE mais elevada para os peixes do D2V3, com 3,78 % dia<sup>-1</sup>, em comparação com os do D1V3 e D2V4, ambos com taxas de 3,40 % dia<sup>-1</sup>. As diferenças estatísticas continuaram na análise do segundo intervalo, cujos menores índices do D2V2 (2,01 % dia<sup>-1</sup>) foram semelhantes aos do D1V4 (2,38 % dia<sup>-1</sup>), mas inferiores aos demais. No terceiro intervalo (56 a 84 dias), as diferenças estatísticas apontaram índices mais expressivos nos peixes estocados na D1. Entre 84 e 112 dias, as taxas de crescimento ficaram entre 0,81 % dia<sup>-1</sup> (D1V4) e 1,07 % dia<sup>-1</sup> (D2V3) e foram semelhantes entre tratamentos. No último intervalo (112 e 140 dias), diferenças estatísticas voltaram a ocorrer, indicando que os peixes do D1V3 apresentaram melhores taxas (0,88 % dia<sup>-1</sup>) que os do D2V3 (0,40 % dia<sup>-1</sup>) (Tabela 12).

**Tabela 12.** Taxa de crescimento específico média (% dia<sup>-1</sup>) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em fração da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques<sup>1</sup>.

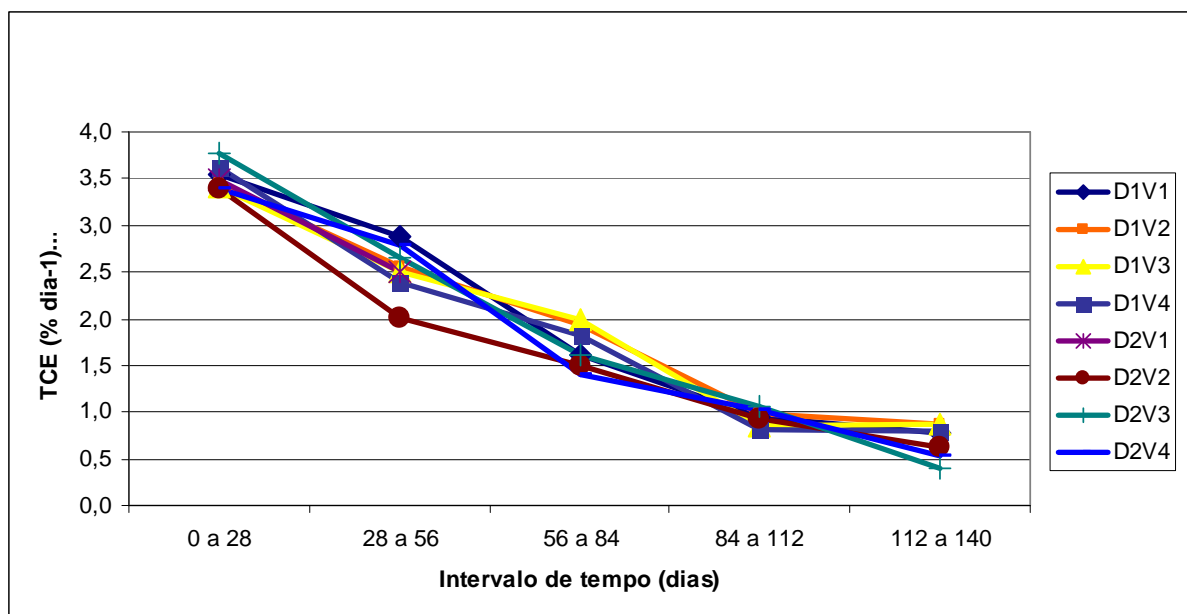
Tratamento <sup>2</sup>	Taxa de crescimento específico média (% dia <sup>-1</sup> ) e nos diferentes intervalos do período experimental				
	0 a 28 dias	28 a 56 dias	56 a 84 dias	84 a 112 dias	112 a 140 dias
D1V1	3,55ab	2,87a	1,62abc	0,94a	0,78ab
D1V2	3,45ab	2,56a	1,93ab	0,98a	0,87a
D1V3	3,40b	2,50a	1,99a	0,86a	0,88a
D1V4	3,62ab	2,38ab	1,82abc	0,81a	0,79ab
D2V1	3,48ab	2,51a			
D2V2	3,39b	2,01b	1,49bc	0,94a	0,63ab
D2V3	3,78a	2,66a	1,61abc	1,07a	0,40b
D2V4	3,40b	2,78a	1,40c	1,03a	0,52ab

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

O perfil dos dados apresentados na Figura 9 indica que as TCE obtidas para a tilápia no presente estudo decresceram do início para o final do período de cultivo. Esses dados têm estreita relação com o ganho de peso relativo, que diminui com o aumento de peso absoluto dos peixes, levando a dizer que quanto maior a TCE, maior a capacidade dos peixes de ganhar peso.

Os valores de TCE, no ponto de inflexão da curva (1,40 % dia<sup>-1</sup> a 1,99 % dia<sup>-1</sup>), foram inferiores aos obtidos por Moraes (2008) em igual período de tempo, quando trabalhou com tilápia (2,66 % dia<sup>-1</sup> a 2,93 % dia<sup>-1</sup>). O valor médio da TCE do último período de avaliação dos peixes (0,70 % dia<sup>-1</sup>) é semelhante ao obtido por Carneiro et al. (1999) em trabalho com tilápias vermelhas estocadas em tanques-rede, nas densidades de 25, 50, 75 e 100 peixes m<sup>-3</sup> e período de cultivo de 253 dias.



**Figura 9.** Taxa de crescimento específico (TCE) de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

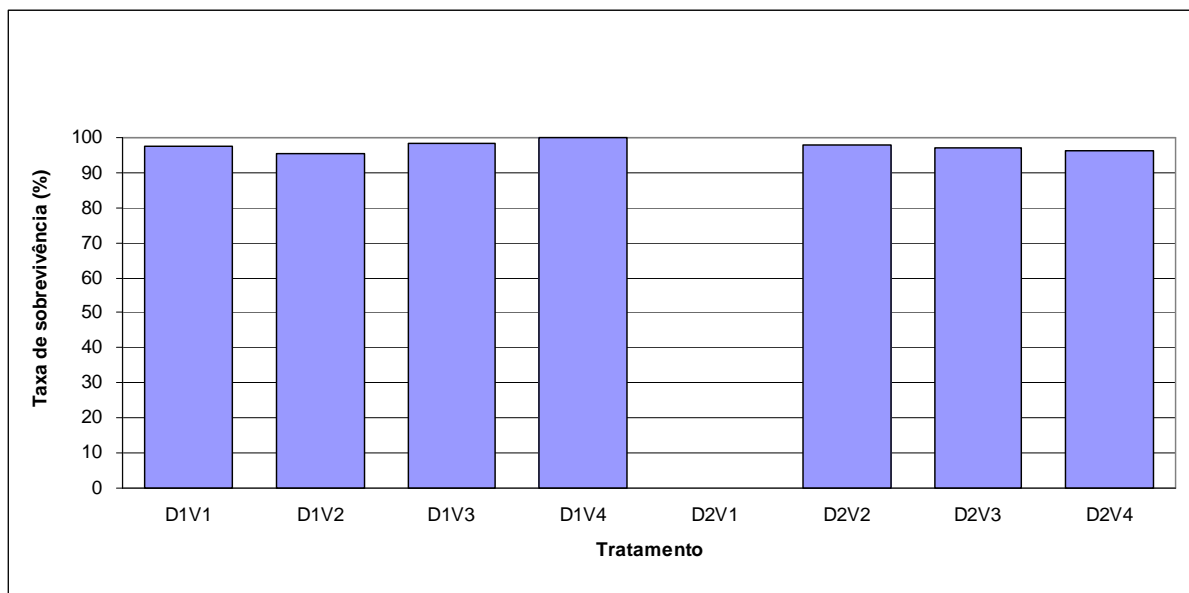
As taxas de crescimento específico encontradas por Silva et al. (2002) também apresentaram tendência de queda com o aumento da densidade de estocagem e foram fortemente influenciadas pela troca de água, sendo significativamente superiores nos tratamentos com renovação total a cada 30 minutos (TCE igual a 2,30 % dia<sup>-1</sup>).

A taxa de sobrevivência determina a quantidade de peixes que conseguiu chegar viva ao final do ciclo de cultivo. O tratamento D2V1 apresentou mortalidade total aos 77 dias. Para esse tratamento, a combinação de alta densidade (56 peixes m<sup>-3</sup>) e baixa renovação de água (200 % renovação diária) foi determinante para a degradação da qualidade da água dos tanques e, conseqüentemente, para a sobrevivência dos peixes. A sobrevivência dos peixes nos demais tratamentos ficou entre 95,24 % (D1V2) e 100 % (D1V4), sendo observado que a densidade e a taxa de renovação de água não influenciaram a taxa de sobrevivência e que, embora esses fatores tenham influenciado o crescimento, não foram letais aos peixes (Figura 10). O manejo alimentar, a manipulação e as condições climáticas e ambientais certamente contribuíram para tais resultados, bem como para a ausência de enfermidades no período de cultivo.

As taxas de sobrevivência durante o ciclo de 140 dias, em todos os tratamentos, foram maiores do que o limite estabelecido por Gontijo et al. (2008) para o cultivo de tilápia em tanques-rede, que deve ser maior do que 90 % em um ciclo de 210 dias. Foram também superiores às taxas de sobrevivência encontradas por Neves et al. (2008) em trabalho



realizado durante 279 dias, com linhagem Bouaké e linhagem Chitralada, que alcançaram respectivamente 72,6 % e 73,4 % de sobrevivência. Marques et al. (2003b) encontraram taxas de sobrevivência variando de 90 % a 100 % em trabalho de desempenho produtivo de alevinos de tilápia do Nilo, submetidos a diferentes níveis de arraçoamento.

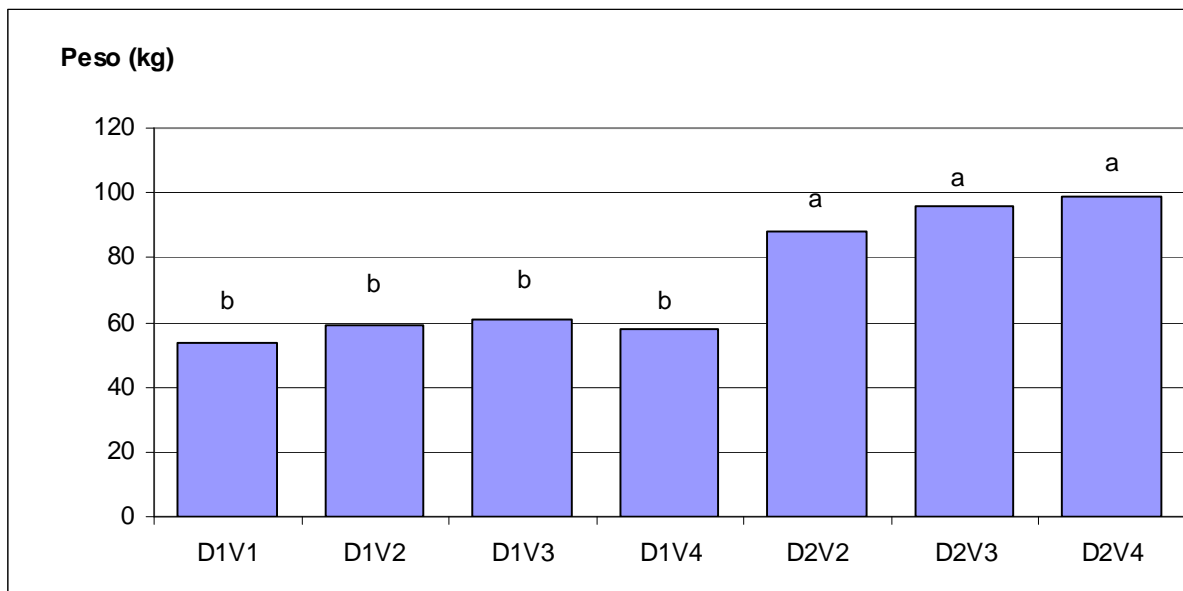


**Figura 10.** Taxa de sobrevivência de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes  $m^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $m^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800% de renovação de água  $dia^{-1}$  respectivamente.

A biomassa final líquida, que é o somatório do peso final de todos os peixes, descontando-se o peso inicial (1ª. biometria), pode ser observada na Figura 11. Para essa variável, a análise estatística detectou diferenças significativas de tal forma que, independentemente da taxa de renovação de água, a D2 produziu maior biomassa de peixes que a D1. De outro lado, como os peixes da D2 atingiram menor peso ao final de 140 dias de cultivo, o dobro da densidade de estocagem da D2 em relação à D1 levou a aumento de 48 % para os peixes nos tanques com 400 % de renovação (V2), 57 % para renovação de 600 % (V3) e 70 % para renovação de 800 % (V4), ou seja, nenhum tratamento da densidade D2 dobrou a sua biomassa.

Analisando-se a taxa de renovação da água, é possível notar uma tendência, embora não significativa, de a biomassa aumentar com a renovação de água. Para os peixes da D1, a tendência é mais bem-percebida entre a renovação de 200 % e 400 %, enquanto na D2 é vista entre 400 % e 600 % de renovação. Os dados permitem inferir que, para tilápia Chitralada com 742 g a 791 g de peso médio final e densidade de 28 peixes  $m^{-3}$ , taxas de renovação de

água superiores a 400 % não levam a incrementos de biomassa. Já na densidade de 56 peixes, maiores incrementos podem ocorrer mediante maior suprimento de água. Entretanto, cabe ao produtor analisar a relação custo/benefício.



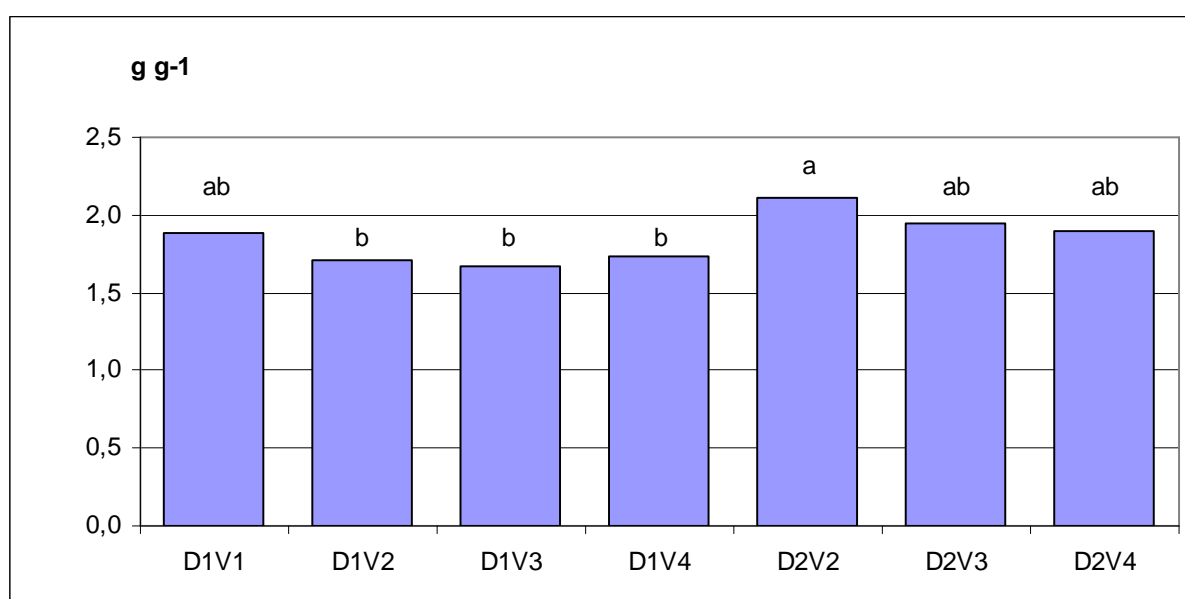
**Figura 11.** Biomassa líquida final de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

Urbinati e Carneiro (2004) expõem que o aumento da densidade de estocagem tem-se mostrado uma fonte potencial de estresse, principalmente por estabelecer uma condição de estresse crônico, situação em que os peixes perdem a capacidade homeostática adaptativa. Peixes mantidos em altas densidades são, geralmente, expostos a um complexo conjunto de fatores que interagem entre si, como qualidade da água e alterações comportamentais, em virtude das interações sociais e disponibilidade de ração diminuída.

Para Arana (2004a), a renovação da água é um dos principais métodos de incorporar oxigênio aos tanques de cultivo de peixes. Boyd (2001) reporta que a circulação evita as estratificações térmica e química da água, tornando o volume total do viveiro habitável, eliminando a possibilidade de redução de oxigênio a níveis letais.

A biomassa final de todos os tratamentos encontra-se dentro da faixa de produtividade (10 a 40 kg m<sup>-3</sup>) estabelecida por Zimmermann e Fitzsimmons (2004) para as variações de densidade populacional (20 a 80 tilápias m<sup>-3</sup>) em sistema superintensivo do tipo *raceway*. No presente experimento, as densidades foram 28 e 56 peixes m<sup>-3</sup>, com produtividade variando de 17,9 a 32,9 kg m<sup>-3</sup>, sendo esta última produtividade maior que a obtida por Carneiro et al. (1999), trabalhando com tilápia vermelha na densidade de 100 peixes m<sup>-3</sup> (27,7 kg m<sup>-3</sup>).

A conversão alimentar estabelece uma relação entre a quantidade de ração consumida em todo, ou em um determinado período de cultivo, e a biomassa produzida. Para essa variável, que foi determinada ao final do período de cultivo, a análise estatística identificou diferenças relacionadas com os tratamentos. O efeito da densidade foi mais determinante que a taxa de renovação de água. De uma forma geral, pode-se dizer que, dentro de uma mesma densidade, as taxas de renovação pouco influenciaram a conversão alimentar, mas os peixes estocados na D1 obtiveram melhores taxas de conversão alimentar que peixes estocados na D2 (Figura 12).



**Figura 12.** Conversão alimentar de tilápia nilótica (*O. niloticus*) em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo em tanques. D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente.

As conversões registradas para peixes dos tratamentos D1V3 (1,67 g g<sup>-1</sup>), D1V2 (1,71 g g<sup>-1</sup>) e D1V4 (1,74 g g<sup>-1</sup>) apresentaram diferenças não significativas do ponto de vista estatístico. Portanto, pode-se dizer que o tratamento D1V2 foi o que apresentou as melhores condições ambientais de cultivo de tilápia, pois consumiu a mesma quantidade de ração que os outros dois e gastou apenas 66 % da água consumida pelo D1V3 e 50 % da água do D1V4.

Para Oliveira et al. (2004), a densidade de estocagem tem efeito direto sobre o potencial de perda de alimento e sobre o acesso dos peixes ao alimento, pois o aumento da densidade de estocagem aumenta a turbulência da água em decorrência da movimentação dos peixes durante a alimentação e também porque aumenta a concorrência por espaço, prejudicando o acesso de parte da população ao alimento. Frasca-Scorvo et al. (2008) encontraram, para

tilápia em tanques-rede, melhor conversão alimentar na menor densidade de estocagem (100 peixes m<sup>-3</sup>).

A melhor conversão alimentar do experimento (1,67 g g<sup>-1</sup>) foi mais elevada que a apresentada em trabalho de Moraes (2008), que foi de 1,34. Entretanto esse valor foi obtido em um período de 84 dias, enquanto a do presente trabalho foi obtida em um período de 140 dias, justamente o período de cultivo (acima de 84 dias) em que os valores de ganho de peso diário (GPD) e taxa de crescimento específico (TCE) foram menores. Os valores de conversão alimentar foram próximos aos obtidos por Tardivo et al. (2008), que, avaliando o desempenho de diferentes linhagens de tilápia do Nilo (Tailandesa, GIFT e o cruzamento Bouaké x Tailandesa), mantidas em tanques-rede, registraram aos 36 dias de cultivo valores de conversão alimentar de 1,56, 1,58 e 1,49 respectivamente.

Siddiqui et al. (1991), cultivando tilápia em tanques de concreto de 3,75 m<sup>3</sup> (240 peixes por tanque), encontraram conversão alimentar variando de 1,7 a 2,3, sendo baixa em tanques com fluxo contínuo e alta em tanques com menor renovação de água. De outro lado, as taxas de conversão alimentar do experimento foram superiores às encontradas por Silva et al. (2002) com tilápia do Nilo no sistema *raceway*, com duas trocas totais de água a cada 30 e 60 minutos e três densidades de cultivo (90, 120 e 150 peixes m<sup>-3</sup>). As taxas de conversão observadas por Silva e colaboradores variaram entre 1,17 e 1,33 g g<sup>-1</sup>.

Os tratamentos D1V2 e D1V3 apresentaram os maiores pesos médios dos peixes (789,50 g e 791,79 g respectivamente), os maiores crescimentos relativos do peso corporal (1.493,26 % e 1.438,88 % respectivamente) e os maiores ganhos de peso diário nos diferentes intervalos de cultivo da tilápia, e apresentaram também as melhores conversões alimentares (1,71 g g<sup>-1</sup> e 1,67 g g<sup>-1</sup> respectivamente). A diferença entre os dois tratamentos é que D1V2 consumiu 33 % menos água no sistema produtivo. Entretanto, analisando-se a produção de biomassa líquida total, os valores foram maiores nos tratamentos D2V2, D2V3 e D2V4 (respectivamente, 87,79 kg, 96,12 kg e 98,88 kg). A conversão alimentar do D2V2 (2,11 g g<sup>-1</sup>) foi a pior e diferenciada em relação à dos outros tratamentos. Portanto, o melhor tratamento em termo da produção total foi o D2V3.

### **5.3. Variáveis limnológicas**

#### **5.3.1. Variáveis físicas**

O desenvolvimento da aquicultura está diretamente relacionado com as condições físicas e químicas do solo e da água, que influenciam de forma marcante o desempenho biológico e produtivo dos peixes. A qualidade da água é um dos mais importantes fatores do sistema de produção e pode ser manejado para reduzir o estresse em sistemas intensivos. Entre as principais variáveis a serem monitoradas e compreendidas na piscicultura, estão: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, transparência, turbidez, gás carbônico, alcalinidade, dureza e concentração de resíduos metabólicos (principalmente amônia e nitrito) e de outras substâncias nocivas (poluentes) (URBINATI e CARNEIRO, 2004). Para conhecer o sistema aquático como um todo, é necessário o estudo das interações dos fatores físicos, químicos e biológicos e a transformação das substâncias orgânicas e inorgânicas (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

Durante o período de cultivo, a temperatura da água (Figura 13) se manteve mais elevada à tarde do que pela manhã. A temperatura máxima registrada no horário da tarde foi de 30,8 °C, o que indica que nesse horário a temperatura da água se manteve bastante estável. No horário da manhã, mesmo ocorrendo uma oscilação mais pronunciada de agosto a setembro (28,8 °C e 27,1 °C respectivamente), essas diferenças não chegaram a ser significativas e foram bem menores que as diferenças observadas para a temperatura do ar (Figura 14). Não houve diferenças significativas entre temperaturas da água nos diferentes tratamentos, de forma que em cada horário e período monitorados, os dados foram expressos como média dos valores observados em todos os tanques.

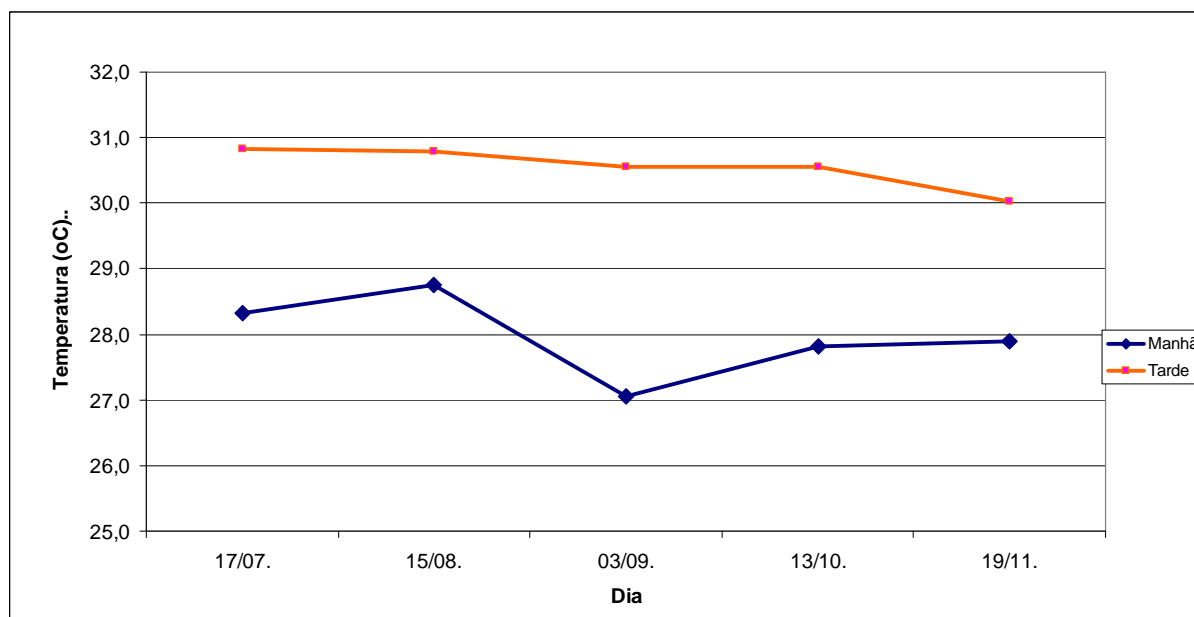
Segundo Reichardt e Timm (2004), o calor específico da água no estado líquido (4.186 J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) é muito alto em comparação com outros materiais, fazendo que a mesma se comporte como um ótimo sistema tampão para a energia disponível na atmosfera, sendo necessária muita energia para que sua temperatura se eleve pouco. Essa propriedade da água torna os sistemas biológicos resistentes a variações de temperatura. Logo, pode-se dizer que o calor específico da água a torna mais estável que a temperatura do ar, o que justifica o fato de a temperatura da água não ter acompanhado as variações ocorridas para a temperatura do ar.

Em experimento desenvolvido por Lima (2006) no período de agosto a novembro de 2005, em canais terciários do Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI), também no Município de Parnaíba, observou-se uma tendência de queda da temperatura da água, embora os valores tenham-se mantido dentro da faixa recomendada para a tilápia.

Segundo Arana (2004a), a faixa térmica recomendada para os peixes de águas de clima tropical vai de 25 °C a 35 °C. Boyd (2001) expõe que nas baixas altitudes que caracterizam as zonas tropicais, a temperatura das águas se mantém dentro dessas variações térmicas durante

todo o ano. Borba et al. (1998) ressaltam que peixes tropicais crescem melhor em temperaturas acima de 25 °C, mas se a mesma estiver acima de 32 °C a 36 °C, o crescimento pode ser reduzido. No presente estudo, a faixa de variação de temperatura ficou entre 27,1 °C e 28,8 °C no horário da manhã e entre 30,0 °C e 30,8 °C no horário da tarde, o que permite dizer que a temperatura se manteve na faixa recomendada para a tilápia.

Manter a temperatura na faixa ótima da espécie cultivada é importante por sua influência nas reações que ocorrem nos processos biológicos, físicos e químicos no meio aquático (ARANA, 2004a) e no metabolismo do peixe. Temperaturas mais altas aumentam o metabolismo dos peixes e, consequentemente, a ingestão de alimentos, a digestão, a excreção e, até mesmo, o crescimento, acontecendo o inverso quando a temperatura diminui (RESENDE et al., 1985; CASTAGNOLLI, 1992; NEWMAN E POPMA, 1995; ALEXANDRINO, 1998; KUBITZA, 2000).

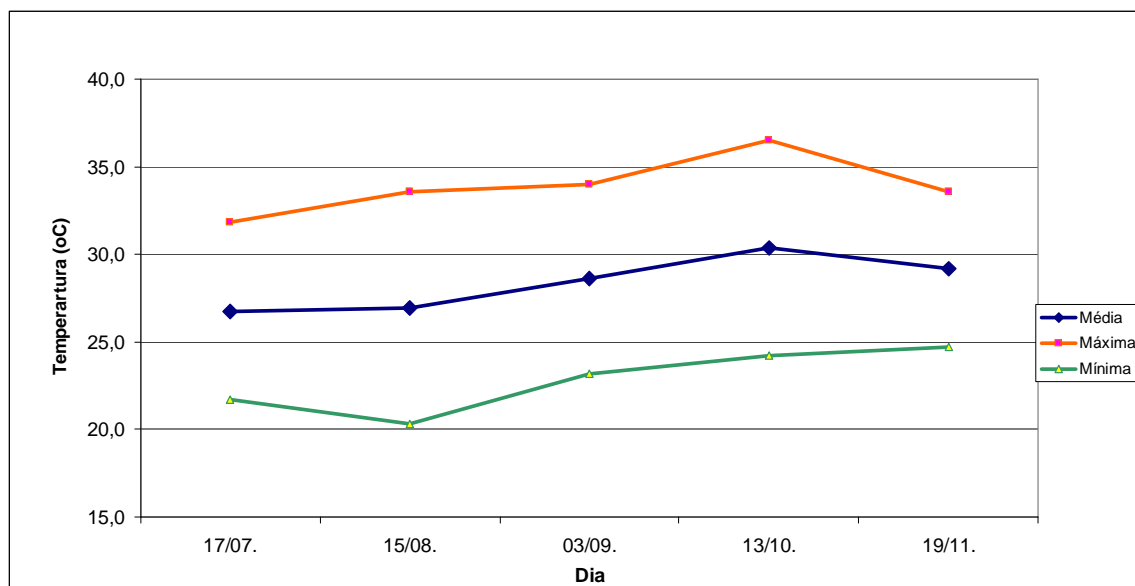


**Figura 13.** Temperatura média (°C) da água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

Para Urbinati e Carneiro (2004), normalmente, os problemas causados por baixas concentrações de oxigênio dissolvido ocorrem durante os períodos com temperaturas mais elevadas em razão da baixa saturação desse gás. Portanto, os cuidados devem ser maiores em cultivos intensivos para evitar os distúrbios das respostas ao estresse.

A transparência, uma outra variável física, indica a que profundidade a luz penetra na coluna d'água. Muitos são os fatores que podem interferir na transparência da água, mas ela é determinada, principalmente, pela quantidade de materiais em suspensão, que podem ser

partículas minerais, como argila e silte, e partículas orgânicas, como plâncton (MEDEIROS, 2002). Para Schmittou (1997), a transparência indica o estado trófico da água, ou seja, ela estará alta quando tiver pouco nutriente e baixa quando os nutrientes forem abundantes. Maiores valores de transparência, segundo Sipaúba-Tavares et al. (2000), estão diretamente ligados à renovação contínua de água.

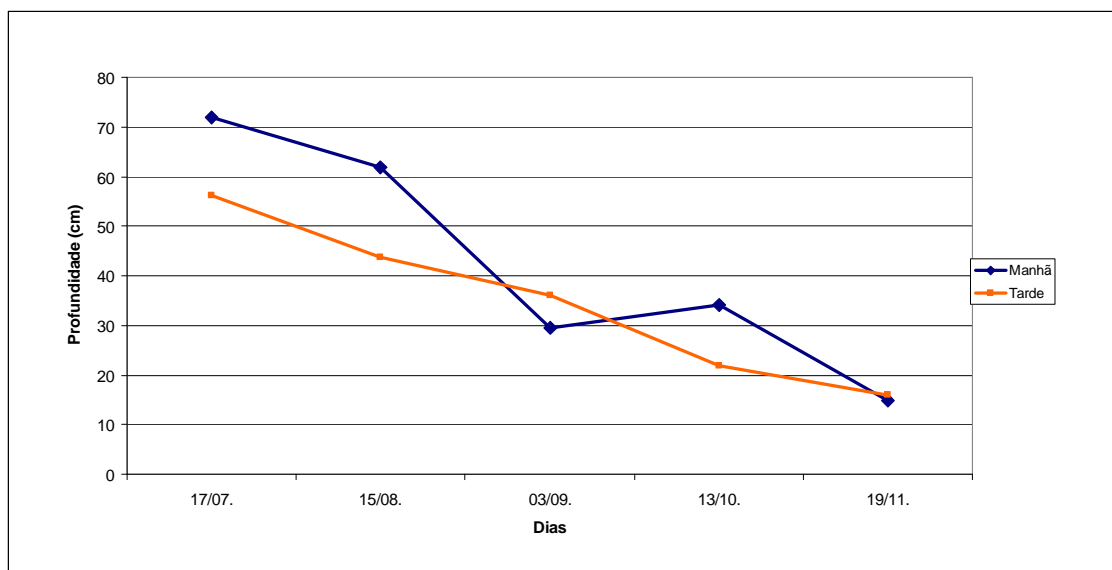


**Figura 14.** Temperaturas (°C) máxima, média e mínima do ar na UEP-Parnaíba, 2008.

Os valores médios de transparência (Figura 15) ficaram entre 72,00 cm e 14,95 cm, sendo essas variações influenciadas pelo período de cultivo, horário de monitoramento, densidade de estocagem dos peixes e taxa de renovação de água. Assim, a transparência diminuiu do início para o fim do cultivo e, excetuando-se os monitoramentos realizados nos dias 03/09 e 19/11, durante o período monitorado a transparência foi maior pela manhã.

Menores valores de transparência foram registrados nos tanques com menor taxa de renovação (V1) e, de forma especial, quando os peixes foram estocados em maior densidade (D2). Situação de extrema redução de transparência ocorreu no D2V1, na ocasião em que se deu a mortalidade de todos os peixes desse tratamento e também no último monitoramento realizado em todos os tratamentos. Os menores valores de transparência nas situações observadas certamente têm estreita relação com uma maior produção de resíduos e menor diluição dos mesmos (Tabela 13).

Lima (2006), trabalhando com cultivo de tilápias em canais de irrigação, também observou maiores valores de transparência no período da manhã, com um perfil quadrático e valores máximo de 80,57 cm e mínimo de 41,86 cm.



**Figura 15.** Transparência (cm) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

**Tabela 13.** Transparência (cm) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia, 2008<sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Transparência (cm) – período de cultivo (datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	63,0 c	59,0 bc	30,7 a	29,0 b	15,0 a
D1V2	84,3 a	69,3 a	33,3 a	34,0 a	15,0 a
D1V3	81,3 ab	65,7 abc	33,3 a	34,7 a	14,7 a
D1V4	83,3 a	66,7 ab	33,3 a	34,7 a	15,3 a
D2V1	64,3 c	57,0 cd	19,3 c	-	-
D2V2	70,0 abc	50,3 d	23,3 b	33,7 a	15,0 a
D2V3	66,7 bc	62,0 abc	32,7 a	34,3 a	15,0 a
D2V4	63,0 c	65,7 abc	30,3 a	37,7 a	14,7 a
Tarde					
D1V1	57,3	49,0 A	35,0 CD	22,0	16,0
D1V2	59,0	44,0 BC	43,3 A	21,7	16,0
D1V3	57,7	48,3 AB	40,0 ABC	21,0	15,7
D1V4	59,3	43,7 BC	42,7 AB	21,0	16,0
D2V1	54,0	42,0 C	25,0 E	-	-
D2V2	54,0	41,0 C	30,3 DE	23,0	16,0
D2V3	54,0	40,3 C	35,7 BCD	22,3	16,0
D2V4	54,7	42,0 C	36,7 ABCD	21,3	16,0

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan, as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

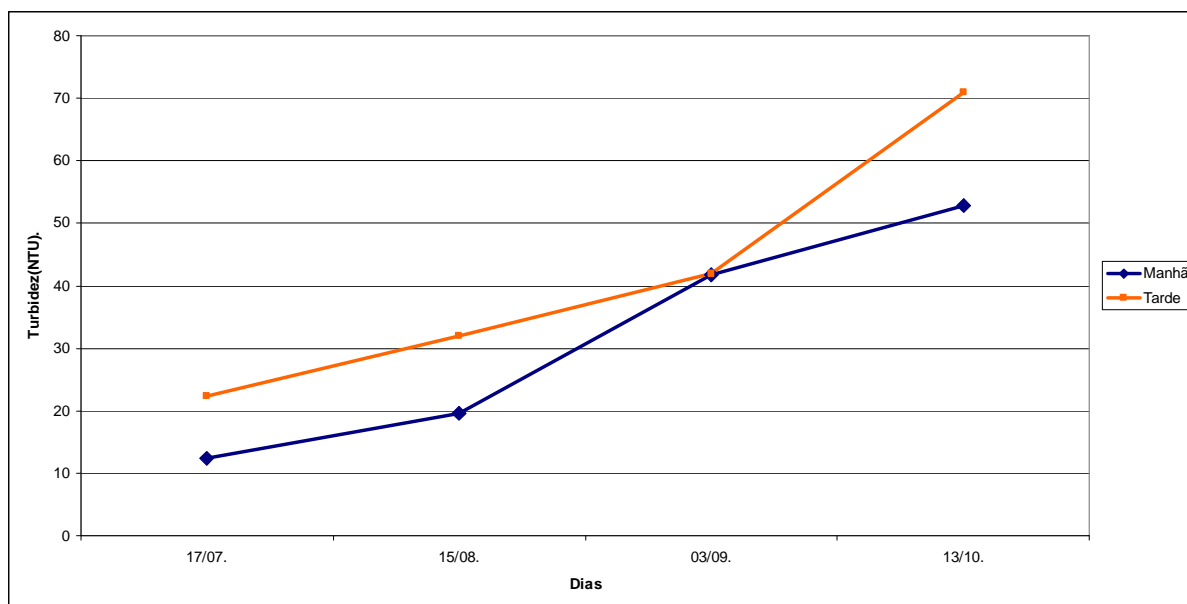


Conforme Sipaúba-Tavares (1995) desde que o fundo não seja totalmente visível, o ideal é manter visibilidade entre 25 cm e 70 cm. Kubitz (1999) expõe que, para evitar problemas com baixo oxigênio dissolvido, é recomendável manter a transparência da água entre 40 cm e 60 cm.

Valores de transparência tão baixos quanto os registrados no presente estudo, a partir de 03/09, segundo Kubitz (1999), podem resultar em oscilações e problemas na água, entre os quais, baixo nível de oxigênio dissolvido no período noturno; elevados valores de pH, principalmente à tarde, aumentando o potencial tóxico da amônia ou prejudicando a excreção de amônia pelos peixes e aumentando o risco de autointoxicação; desenvolvimento da estratificação termoquímica da coluna d'água, reduzindo também o oxigênio dissolvido e aumentando as concentrações de substâncias nocivas como o gás carbônico, a amônia, o nitrito, o gás metano e o sulfídrico.

A transparência tem grandeza inversa à turbidez. Esta é expressa em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) e determina quanto de luz é dissipado na coluna de água. A presença de partículas em suspensão, entre elas, argila, silte, matéria orgânica e micro-organismos, dificulta a penetração dos raios luminosos e, conseqüentemente, a realização de fotossíntese, diminuindo também a quantidade de oxigênio dissolvido e a transparência (GALLI E TORLONI, 1984).

Houve um aumento progressivo da turbidez ao longo do ciclo de cultivo. Também, foi possível observar que, com exceção do monitoramento realizado no dia 03/09/2008, todos os valores foram significativamente mais elevados à tarde do que pela manhã. No horário da manhã, o monitoramento foi feito antes do arraçamento e, como a alimentação foi parcelada em quatro refeições (8h, 11h, 13h e 16h), o monitoramento da turbidez à tarde ocorreu após o arraçamento. Durante esse manejo, pôde-se perceber uma intensa movimentação dos peixes na água, que contribuiu para a suspensão de material particulado na coluna de água e, conseqüentemente, para maior turbidez. Os dados do dia 19/11/2008 não foram coletados em virtude de problemas no equipamento (Figura 16).



**Figura 16.** Turbidez (NTU) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

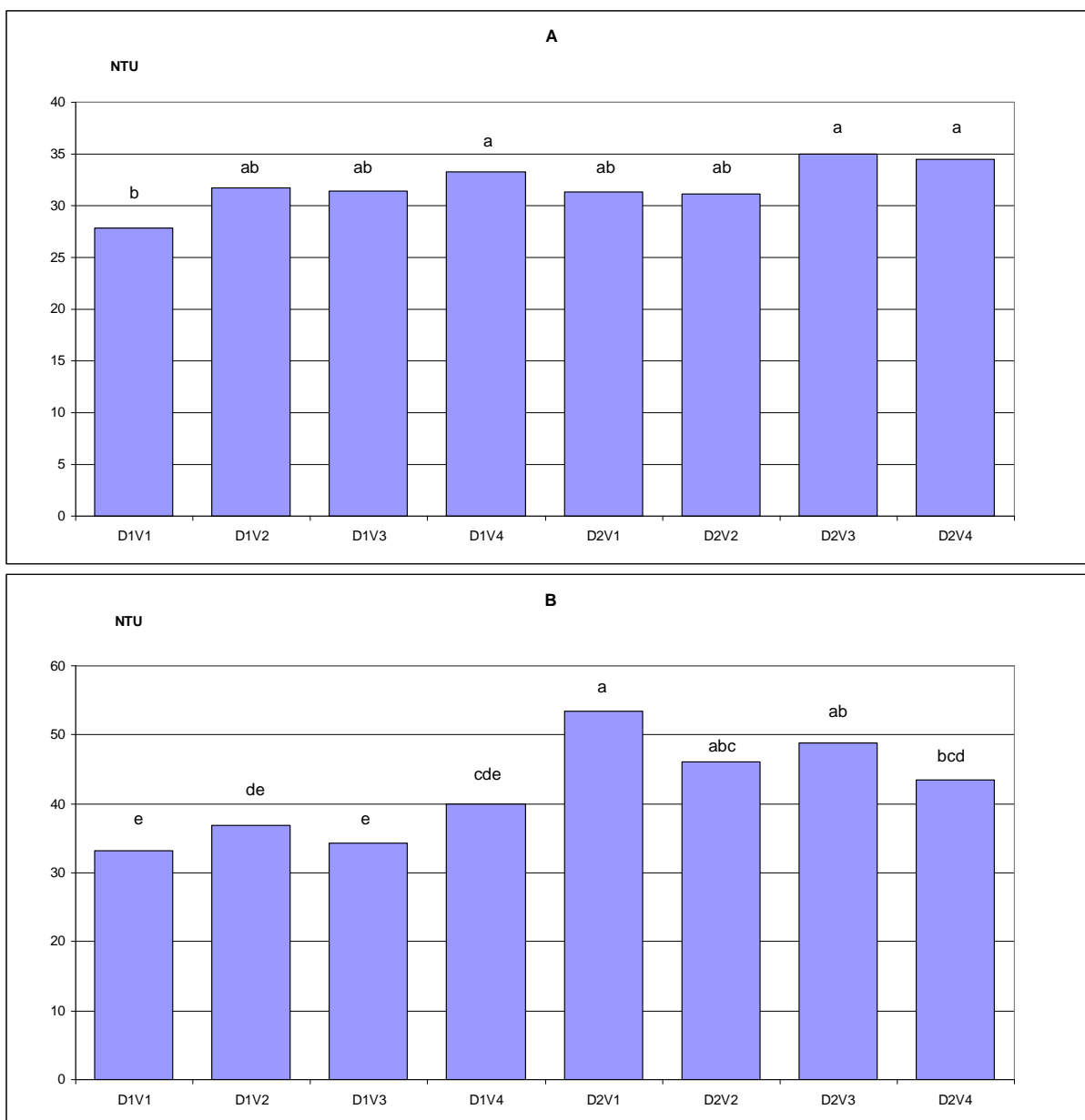
Diferenças relacionadas com densidade de estocagem e taxa de renovação de água só ocorreram nos monitoramentos realizados nos dias 15/08/2008 e 03/09/2008, sempre no horário da tarde (Figura 17). As variações registradas foram mais dependentes da densidade de estocagem do que da taxa de renovação de água. Na maior densidade (D2), ocorreu maior produção de resíduos pelo cultivo de peixes, portanto maior a turbidez.

Segundo Boyd (2001), a variação da turbidez em viveiros é da ordem de 10 a 50 NTU. Para Sipaúba-Tavares (1995), a turbidez e cor são consequências da presença de argilas coloidais, substâncias em solução, matéria orgânica coloidal ou dissolvida, ou mesmo plâncton. A autora ressalta, ainda, que a temperatura da água em viveiros túrbidos é maior que nos claros em decorrência da grande absorção de calor pelo material particulado. Boyd e Queiroz (2004) observaram que, à medida em que a produção e a taxa de alimentação aumentam, os viveiros se tornam poluídos com nutrientes e matéria orgânica. Isso, portanto, explica o aumento da turbidez ao longo do estudo.

### 5.3.2. Variáveis químicas e clorofila *a*

O oxigênio dissolvido ( $O_2D$ ) é o elemento mais limitante em ambientes de cultivo de peixes e, por isso, recebe maior atenção. Embora exista em abundância na atmosfera, ele é pouco solúvel na água (MOREIRA et al., 2001). Vários fatores influenciam as concentrações

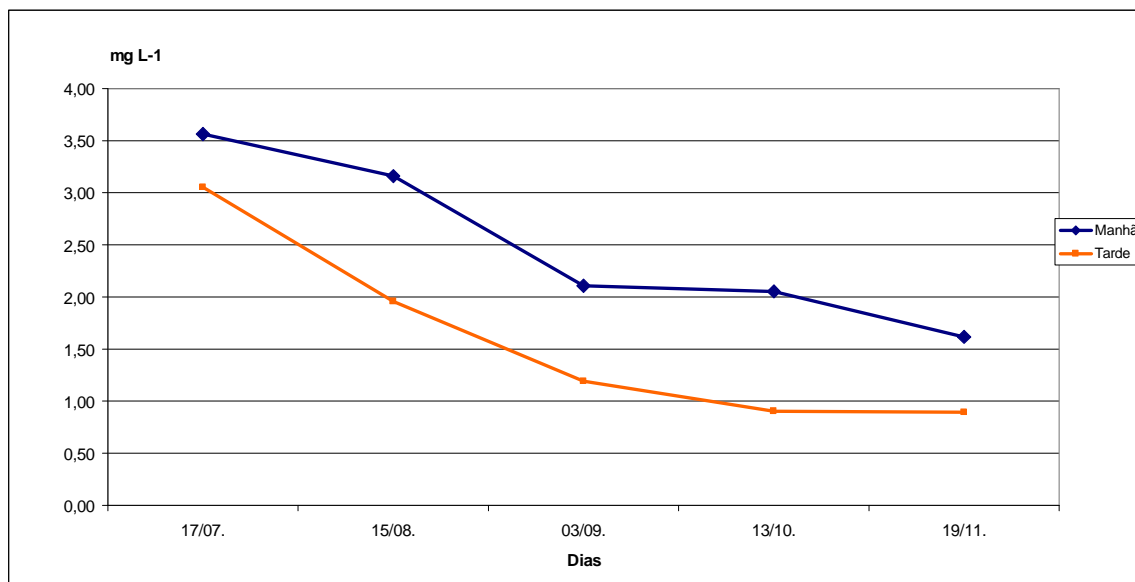
desse gás na água, entre os quais, taxa fotossintética, temperatura, pressão atmosférica, salinidade, turbidez, transparência, compostos nitrogenados, ácido carbônico (BOYD, 2001; SCHMITTOU, 1997) e aspectos ligados às condições de manejo (AYROZA et al., 2000).



**Figura 17.** Turbidez (NTU) na água dos tanques dias 15/08/2008 (A) e 03/09/2008(B) à tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan. D1 (28 peixes  $m^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $m^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $dia^{-1}$  respectivamente.

As concentrações de oxigênio dissolvido decresceram do início para o final do período experimental (Figura 18). Foram detectadas diferenças relacionadas com o horário de

monitoramento, de modo que as concentrações foram mais elevadas no horário da manhã do que à tarde.



**Figura 18.** Teor de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

Diferenças relacionadas com densidade de estocagem e taxa de renovação de água ocorreram, sendo observados, em alguns monitoramentos, maiores níveis para tanques de D1 (Tabela 14). Nesse tratamento, não houve diferenças relacionadas com taxa de renovação de água.

Concentrações de oxigênio mais elevadas no horário da tarde, e em temperatura mais baixa, são esperadas (GALLI e TORLONI, 1984; MOREIRA et al., 2001). De outro lado, concentrações mínimas e próximas a zero podem ocorrer nas primeiras horas antes do nascer do sol em razão da ausência de fotossíntese e dos processos de respiração dos organismos aquáticos. Situações como essas podem acarretar mortalidade de peixes ou piorar o seu desempenho. Tal fato é acentuado nas épocas quentes em virtude da menor solubilidade do oxigênio na água e do aumento do metabolismo dos peixes, que exige maior consumo de oxigênio por causa da elevação da temperatura da água (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

Observou-se para o oxigênio, determinado no horário da manhã, um comportamento diferente do esperado. Assim, os valores foram mais elevados nesse horário do que no horário da tarde; esse fato pode ser atribuído à baixa concentração de organismos fotossintetizantes, que, na presença de luz, podem responder por até 90 % da produção de oxigênio (MEDEIROS, 2002; SCHMITTOU, 1997) e à noite, na ausência de luz, por grande consumo

(SIPAÚBA-TAVARES, 1995). As temperaturas mais elevadas no horário da tarde também devem ter contribuído para a redução de oxigênio dissolvido na água (BOYD, 2001).

**Tabela 14.** Teor de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Teor de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ )–período de cultivo(datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	3,73 ab	3,44 a	2,21 a	2,14 a	1,91 a
D1V2	3,70 ab	3,40 a	2,45 a	2,25 a	1,66 abc
D1V3	3,64 abc	3,20 ab	2,60 a	2,21 a	1,69 abc
D1V4	3,80 a	3,42 a	2,44 a	2,21 a	1,81 ab
D2V1	3,52 bcd	3,07 ab	1,13 c	-	-
D2V2	3,38 d	2,62 c	1,58 b	1,60 b	1,41 c
D2V3	3,44 cd	3,17 ab	2,19 a	1,97 a	1,45 bc
D2V4	3,33d	2,97 bc	2,23 a	2,00 a	1,38 c
Tarde					
D1V1	3,33 AB	2,14 AB	1,28 ABC	0,89 BC	0,96 AB
D1V2	3,35 AB	2,67 A	1,48 A	0,95 AB	0,91 BC
D1V3	3,23 B	2,39 A	1,40 AB	1,07 A	0,90 BC
D1V4	3,48 A	2,55 A	1,57 A	1,06 A	1,00 A
D2V1	2,82 C	1,26 C	0,68 E	-	-
D2V2	2,75 C	1,51 C	0,94 DE	0,77 C	0,80 DE
D2V3	2,73 C	1,46 C	1,13 BCD	0,79 BC	0,87 CD
D2V4	2,72 C	1,69 BC	1,03 CD	0,83 BC	0,79 E

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes  $\text{m}^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $\text{m}^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $\text{dia}^{-1}$  respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

A redução da concentração de oxigênio observada do início para o final do período experimental certamente pode ser atribuída ao incremento no consumo de oxigênio, advindo do aumento da biomassa dos peixes e de material em suspensão na água, conforme comprovado pelos baixos valores de transparência e mais altos de turbidez. Arana (2004a) relata que, ao longo do período de cultivo, os viveiros passam de uma condição autotrófica para uma condição heterotrófica (predominância dos processos de respiração) basicamente pela maior incorporação e acumulação de matéria orgânica vinda da ração e dos dejetos dos animais de cultivo.

Os valores críticos do OD, nas condições do experimento, foram  $1,13 \text{ mg L}^{-1}$  no período da manhã e  $0,68 \text{ mg L}^{-1}$  à tarde. Lachi e Sipaúba-Tavares (2008), trabalhando durante um ano

com cultivo semi-intensivo de peixes, em viveiro com área de 5.671 m<sup>2</sup>, também encontraram baixos teores de oxigênio dissolvido na água no final do ciclo (1,89 mg L<sup>-1</sup>). Em canais de irrigação com cultivo de tilápias nas densidades de 10, 20 e 30 peixes m<sup>-3</sup>, Lima et al. (2008) observaram que o oxigênio dissolvido não apresentou diferenças relacionadas com os fatores estudados e, embora teores de até 3,5 mg L<sup>-1</sup> tenham sido registrados na densidade de 30 peixes m<sup>-3</sup>, na maior parte do experimento os valores ficaram entre 5,0 e 6,0 mg L<sup>-1</sup>. Yi et al. (2005a), trabalhando com tilápia do Nilo em viveiros, encontraram no final do ciclo de cultivo (237 dias) teores de oxigênio dissolvido ainda menores, variando entre 0,38 e 0,57 mg L<sup>-1</sup>.

Boyd e Queiroz (2004) expõem que as tilápias são mais tolerantes a baixas concentrações de oxigênio dissolvido que a maioria das outras espécies. Contudo, os teores de oxigênio, na maior parte do período experimental, ficaram no limite ou mesmo abaixo de 2 a 3 mg L<sup>-1</sup>, cujos valores, na opinião de Sipaúba-Tavares (1995), permitiriam que os peixes ficassem sem estresse.

Para Kubitza (1999), a aeração dos tanques é fundamental para a manutenção de níveis adequados de oxigênio dissolvido, aumentando a sobrevivência e o desempenho produtivo dos peixes. Os peixes cresceram de forma satisfatória, mas o uso permanente de aeração e renovação de água não foi suficiente para manter níveis de oxigênio na faixa ideal para a tilápia, que seriam entre 3 e 8 mg L<sup>-1</sup> (SCHRECK et al., 2005).

Resultados idênticos para o oxigênio dissolvido na água dos tanques da D1 levam a dizer que a taxa de renovação de água não apresenta grande efeito sobre a disponibilidade de oxigênio. Para os peixes da D2, a renovação da água foi determinante. É possível dizer que, durante todo o ciclo de cultivo de tilápia, a taxa de renovação de água V1 na densidade D1 disponibilizou mais oxigênio do que a taxa V4 na densidade D2. O conjunto de informações sugere que a renovação de água garante um suprimento de oxigênio para os peixes, mas não é suficiente para manter altas concentrações na presença de biomassa elevada de peixes.

Segundo Arana (2004a), os viveiros de cultivos possuem quatro fontes principais de oxigênio: fitoplâncton e plantas aquáticas (fotossíntese), oxigênio atmosférico (difusão), oxigênio da água adicionada (troca de água) e oxigênio a partir da aeração mecânica. Sipaúba-Tavares (2004) afirma que o fluxo de água é extremamente importante, sendo responsável, em parte, pelo transporte de nutrientes, transporte de micro-organismos, adição de oxigênio ao meio, entre outros.

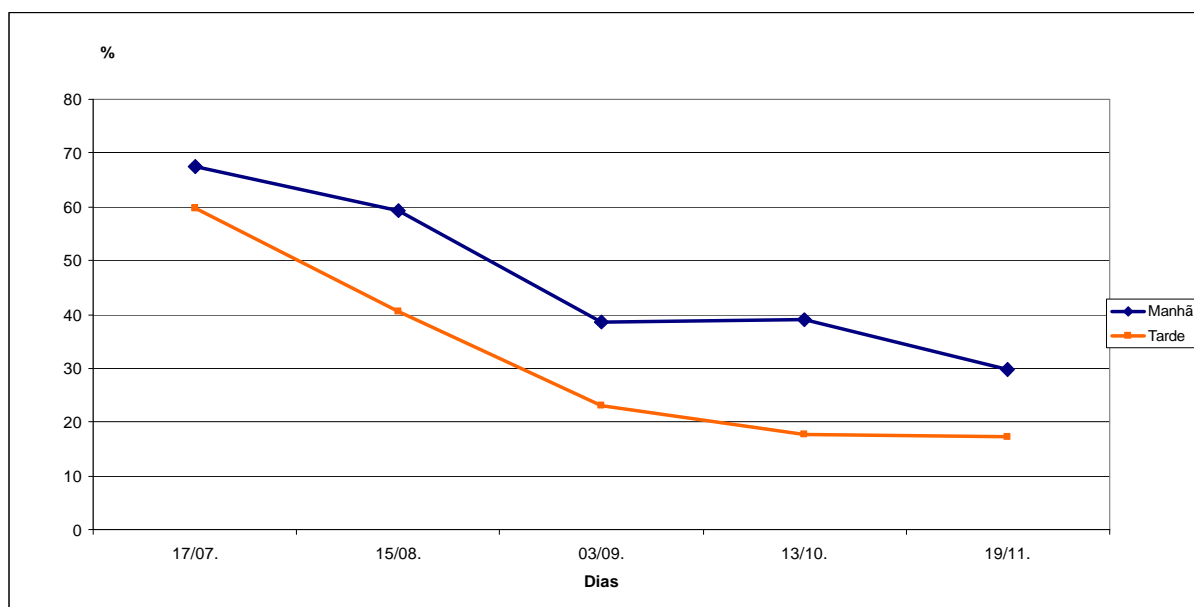
O oxigênio também pode ser expresso em porcentagem de saturação. Para conversão de mg L<sup>-1</sup> para % de saturação, é necessário medir a temperatura da água e verificar na tabela o

valor de saturação para essa temperatura e também o fator de correção para a altitude em que foi coletada a amostra (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

Segundo Boyd (2001), o grau de saturação da água em oxigênio dissolvido, frequentemente, é expresso em percentual de saturação pela relação entre a concentração de OD na água e a concentração de OD em saturação. A água pode conter menos OD do que o esperado no seu ponto de saturação nas condições normais, cuja respiração dos organismos do viveiro pode ocasionar a redução dos níveis de OD.

A plotagem e análise estatística dos dados demonstraram que, para todos os fatores estudados, os percentuais de saturação de oxigênio ao longo do período experimental apresentaram o mesmo comportamento observado para a concentração (Figura 19 e Tabela 15). É possível observar que percentuais críticos de saturação de oxigênio foram encontrados aos 62 dias após o início do cultivo dos peixes (03/09/2008), ocasião em que começou a surgir mortalidade nos peixes do D2V1. No horário da manhã, o mais baixo índice chegou a 16,0 % e à tarde, a 13,3 %.

Boyd (2001) relata que um bom crescimento das espécies aquícolas pode ser obtido até o ponto em que as concentrações do oxigênio dissolvido não caiam abaixo de 25 % a 30 % do seu ponto de saturação durante a noite e não permaneçam nesse nível por 1 a 2 horas.



**Figura 19.** Porcentagem de saturação de oxigênio (%) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

**Tabela 15.** Porcentagem de saturação de oxigênio (%) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Porcentagem de saturação de oxigênio (%)				
	período de cultivo (datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	71,5 a	65,7 a	40,1 b	39,8 ab	34,6 a
D1V2	70,3 ab	63,6 a	45,7 ab	42,0 ab	30,7 abc
D1V3	67,6 bc	61,3 ab	44,3 ab	41,6 ab	31,4 abc
D1V4	72,6 a	65,2 a	52,2 a	45,4 a	33,8 ab
D2V1	66,5 cd	57,7 b	16,0 d	-	-
D2V2	63,9 d	47,0 c	28,6 c	29,9 c	25,6 c
D2V3	63,7 d	57,5 b	40,9 b	36,3 b	27,1 bc
D2V4	63,3 d	56,4 b	41,6 b	38,0 b	24,9 c
Tarde					
D1V1	65,4 A	41,5	24,6 ABC	17,3 BC	18,6 AB
D1V2	66,0 A	49,8	28,8 A	18,6 AB	17,9 AB
D1V3	63,9 A	46,9	27,0 AB	20,7 A	17,4 B
D1V4	67,0 A	49,7	30,7 A	20,6 A	19,3 A
D2V1	54,4 B	25,0	13,3 E	-	-
D2V2	54,9 B	41,1	17,8 DE	15,1 C	15,6 C
D2V3	52,8 B	27,9	21,8 BCD	15,2 C	16,9 BC
D2V4	53,0 B	42,5	20,2 CD	16,4 BC	15,3 C

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

O pH, definido como logaritmo negativo da atividade (em moles L<sup>-1</sup>) dos íons H<sup>+</sup>, é importante variável química, que atua sobre o metabolismo e os processos fisiológicos dos peixes. Na água, os principais fatores determinantes do pH são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a concentração de sais em solução. Condições de pH abaixo de 4,5 são resultantes da presença e diluição na água de ácidos minerais como os ácidos sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), clorídrico (HCl) e nítrico (HNO<sub>3</sub>), compostos tóxicos aos peixes (KUBITZA, 2003). O pH alcalino é resultante de bases dissolvidas na água, sendo o bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a forma predominante (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

Nos ambientes límnicos, variações de pH são frequentes e resultam das mudanças no ritmo da fotossíntese, realizada pelo fitoplâncton, em resposta ao fotoperiodismo (BOYD, 2001) e se intensificam quando as reservas alcalinas ficam abaixo de 30 mg de CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (KUBITZA, 2000). Diferenças no pH (Figura 20) ocorreram durante o período de cultivo, em

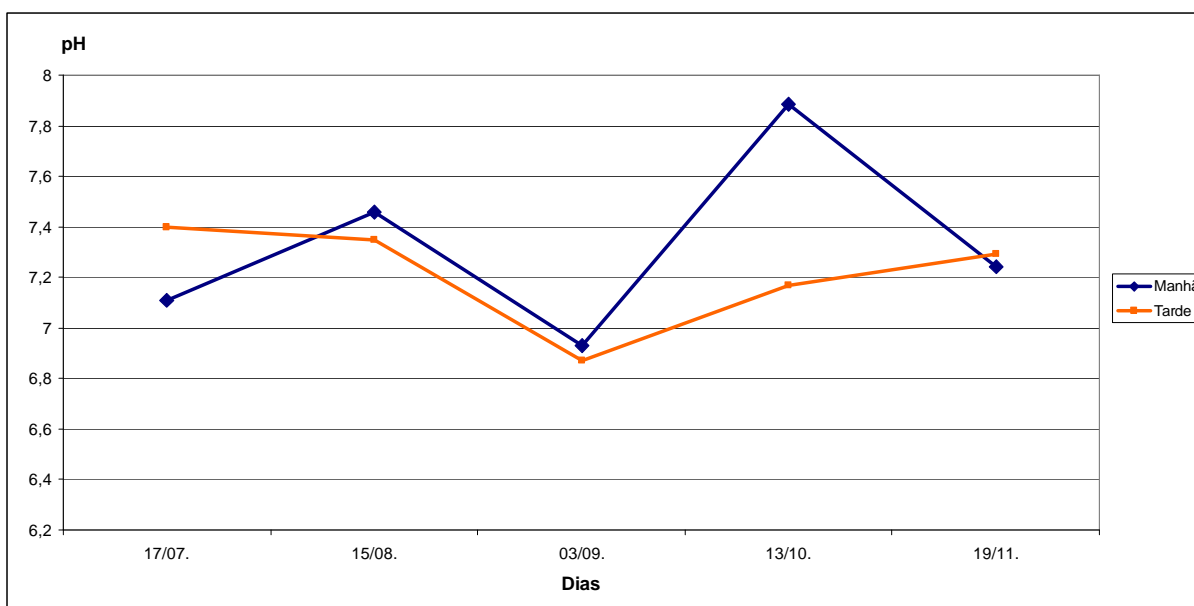


ambos os horários e, em alguns monitoramentos, em razão da densidade de estocagem. De outro lado, nenhum efeito pronunciado ocorreu por causa das taxas de renovação de água.

Valores mais altos de pH no horário da manhã, com diferença estatística, ocorreram aos 44 e 100 dias de cultivo. Esse fato mostra que a atividade fotossintética do fitoplâncton na água dos tanques não foi determinante, principalmente porque no período da tarde seria esperado um pH mais elevado (mais alcalino).

Pode-se observar que, no horário da manhã (Tabela 16), os valores de pH determinados aos 15 e 60 dias de cultivo permaneceram sem diferenças entre tratamentos. No horário da tarde, essa similaridade ocorreu apenas aos 100 dias de cultivo. Em ambos os horários, as diferenças registradas demonstraram uma tendência de o pH ser mais baixo na água dos tanques de D2. Esse fato é justificado pela maior atividade respiratória, em virtude da maior biomassa, levando a uma maior produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e, conseqüentemente, maior liberação do íon hidrogênio.

Todos os valores de pH encontrados estão dentro da faixa ideal para a produção de organismos aquáticos, que se situa entre 6,5 e 8,0 (ARANA, 2004b). Para tilápias, Kubitza (2000) relata ser ideal uma faixa de pH entre 6,0 e 8,5, valores observados durante todo o período de cultivo do presente estudo (6,77 a 7,93). Esses valores estão em concordância com os obtidos por Lachi e Sipaúba-Tavares (2008), monitorando a água de viveiro com cultivo semi-intensivo de peixes (6,0 a 7,0).



**Figura 20.** Valores de pH médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11 respectivamente 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

**Tabela 16.** Valores de pH nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	pH - período de cultivo (datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	7,23 a	7,51 ab	7,07	7,93 ab	7,26 abc
D1V2	6,93 a	7,52 a	7,07	7,87 abc	7,23 bc
D1V3	7,13 a	7,47 abc	7,00	7,97 a	7,40 a
D1V4	7,03 a	7,51 ab	7,07	7,97 a	7,37 ab
D2V1	7,10 a	7,43 cd	6,80	-	-
D2V2	7,13 a	7,38 d	6,80	7,80 c	7,14 c
D2V3	7,13 a	7,42 cd	6,80	7,83 bc	7,18 c
D2V4	7,17 a	7,44 bcd	6,83	7,83 bc	7,13 c
Tarde					
D1V1	7,60 A	7,45 A	6,93 A	7,03	7,26 B
D1V2	7,43 ABC	7,46 A	6,97 A	7,07	7,30 AB
D1V3	7,33 BC	7,41 A	6,90 AB	7,30	7,41 A
D1V4	7,50 AB	7,45 A	6,90 AB	7,10	7,35 AB
D2V1	7,43 ABC	7,28 B	6,83 BC	-	-
D2V2	7,23 C	7,19 C	6,83 BC	7,37	7,27 B
D2V3	7,40 ABC	7,24 BC	6,83 BC	7,13	7,23 B
D2V4	7,27 C	7,30 B	6,77 C	7,17	7,23 B

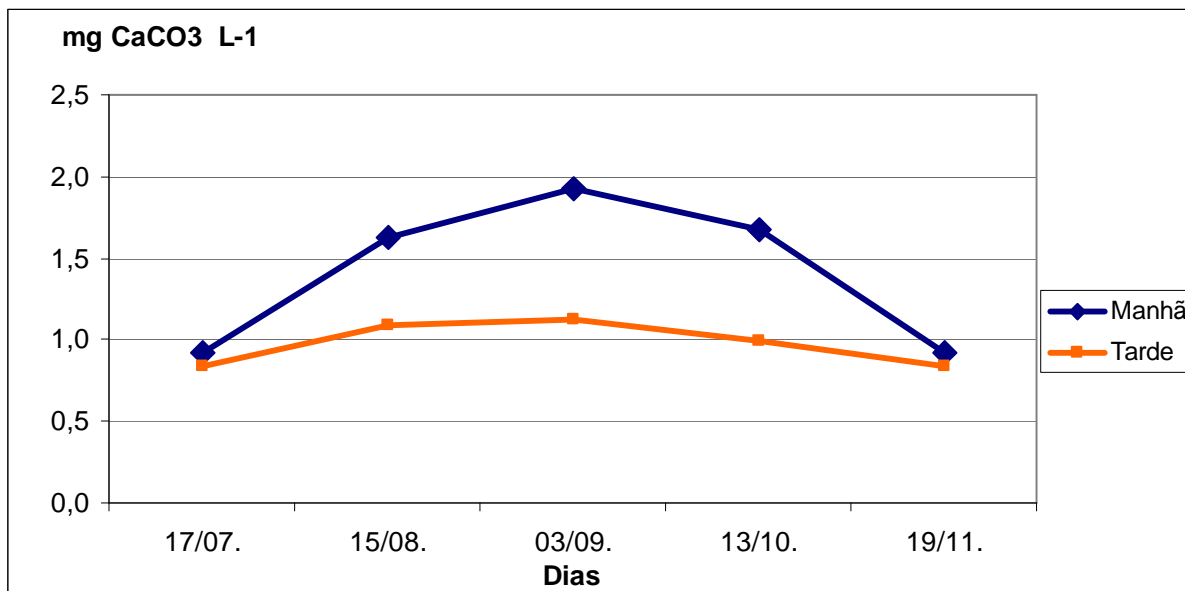
<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

As alterações do pH são fortemente dependentes da alcalinidade total da água, que é a medida da capacidade da água em neutralizar ácidos, ou seja, é a concentração de bases na água (CASTAGNOLLI, 1992). A alcalinidade é expressa em partes por milhão (ppm) ou miligramas por litro (mg L<sup>-1</sup>) de carbonato de cálcio - CaCO<sub>3</sub> (ESTEVES, 1998; OSTRENSKY e BOEGER, 1998). As reservas alcalinas são devidas, principalmente, aos íons bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>), embora o amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), os fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), os silicatos (SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>) e a hidroxila (OH<sup>-</sup>) se comportem como bases, contribuindo para a alcalinidade total (SIPAÚBA-TAVARES, 1995). O gás carbônico dissolvido na água, que vai gerar o ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), pode também contribuir para a alcalinidade total (KUBTIZA, 2003).

Valores de alcalinidade aos 44, 60 e 100 dias de cultivo foram significativamente mais elevados pela manhã do que à tarde (Figura 21), no entanto, essas diferenças são pequenas, 0,54, 0,80 e 0,69 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>, respectivamente, pois a água de suprimento da maior parte

do experimento (A0) continha baixo teor de íons bicarbonatos ( $0,11 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-1}$ ) e ausência de íons carbonatos.



**Figura 21.** Alcalinidade ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

A alcalinidade total determinada no horário da manhã, aos 15, 44 e 140 dias de cultivo, foi semelhante entre tanques com tilápia estocada em diferentes densidades e taxas de renovação de água, o mesmo ocorrendo nos monitoramentos realizados aos 15, 44 e 100 dias de cultivo, no horário da tarde. Nos demais períodos monitorados, as pequenas diferenças registradas chegaram a um valor máximo de  $0,454 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  e não estabeleceram um perfil fortemente distinto entre tratamentos, nem suficiente para provocar alterações na dinâmica dos processos que ocorrem nos tanques (Tabela 17).

As concentrações alcalinas ficaram entre  $0,80$  e  $2,09 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , muito abaixo do recomendado para criação de peixes. Arana (2004b) expõe que a concentração média padrão da alcalinidade para aquicultura varia de  $10$  a  $400 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . Sipaúba-Tavares (1995) relata que podem ser encontradas concentrações de alcalinidade menores que  $5$  e maiores que  $500 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . Castagnolli (1992) estabelece como ideal para a piscicultura níveis de alcalinidade em torno de  $30$  a  $50 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . Sipaúba-Tavares (1995) ressalta que valores entre  $200$  a  $300 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  podem proporcionar grande sucesso no cultivo, pois um bom aporte de carbonato de cálcio mantém o equilíbrio entre bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e gás carbônico livre ( $\text{CO}_2$ ), reduzindo as variações de pH.

**Tabela 17.** Alcalinidade (mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

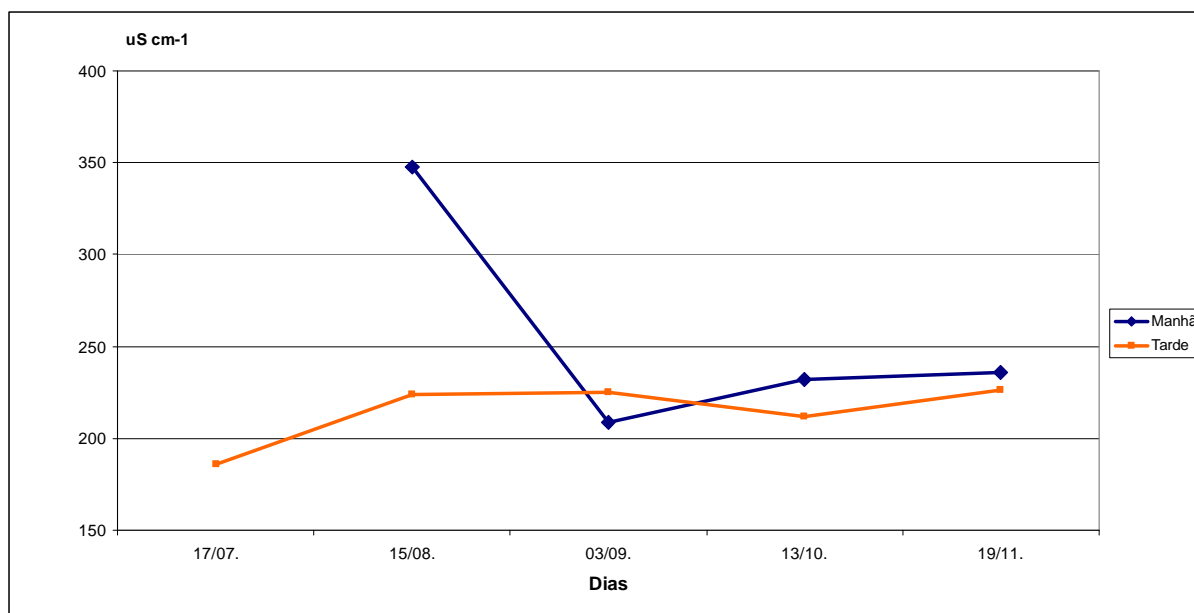
Tratamento <sup>2</sup>	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> ) - período de cultivo (datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	0,89 b	1,52 a	1,65 d	1,38 c	0,97 a
D1V2	0,84 b	1,60 a	1,78 cd	1,58 b	0,93 a
D1V3	0,84 b	1,70 a	1,97 ab	1,67 b	0,84 a
D1V4	0,85 b	1,61 a	2,08 a	1,80 a	0,95 a
D2V1	1,03 a	1,60 a	1,85 bc	-	-
D2V2	0,94 ab	1,61 a	1,86 bc	1,67 b	0,91 a
D2V3	1,00 a	1,61 a	2,07 a	1,80 a	0,92 a
D2V4	1,00 a	1,69 a	2,09 a	1,81 a	0,89 a
Tarde					
D1V1	0,83 a	1,08 a	1,28 b	1,04 a	0,91 a
D1V2	0,80 a	1,01 a	1,13 cd	0,98 a	0,87 ab
D1V3	0,81 a	1,09 a	1,00 ef	1,01 a	0,78 c
D1V4	0,78 a	1,03 a	0,98 ef	0,92 a	0,78 c
D2V1	0,88 a	1,20 a	1,40 a	-	-
D2V2	0,85 a	1,12 a	1,19 c	1,00 a	0,80 bc
D2V3	0,87 a	1,04 a	1,05 de	0,96 a	0,85 ab
D2V4	0,88 a	1,09 a	0,95 f	0,97 a	0,84 abc

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

A condutividade elétrica (CE) indica a quantidade de íons no sistema aquático (CASTAGNOLLI, 1992) e fornece informações sobre o metabolismo do ecossistema, ajudando a detectar fontes poluidoras no meio. Nesse contexto, a ocorrência de valor elevado de CE indica maior quantidade de sais dissolvidos (HOLANDA e AMORIM, 1997; MEDEIROS e GHEYI, 1997) e/ou elevado grau de decomposição (MOREIRA et al., 2001), ao passo que, diante de um baixo valor, há um indicativo de uma acentuada produção primária (SIPAÚBA-TAVARES, 1995) e baixos valores de sais.

Quando os dados obtidos para a CE nos dois horários de coleta foram analisados, verificou-se que diferenças significativas ocorreram em todas as datas, e apenas aos 60 dias de cultivo o valor mais elevado foi no horário da tarde (Figura 22). Apesar dessas diferenças, a variação é de pequena grandeza para provocar alteração na quantidade de oxigênio dissolvido na água.



**Figura 22.** Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) média na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

Avaliando-se o efeito de densidades e taxas de renovação de água sobre a CE da água dos tanques (Tabela 18), observou-se que, de uma forma geral, os valores foram menores nos tratamentos com altas taxas de renovação de água, indicando maior capacidade de diluição e eliminação dos íons gerados no sistema de produção. De outro lado, não houve um perfil definido no que concerne às densidades e, dentro de um mesmo período de monitoramento, as maiores diferenças registradas entre tratamentos foi de  $38 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Estudo de Sipaúba-Tavares et al. (2000) mostra que os maiores valores de condutividade elétrica foram encontrados em tanque sem fluxo contínuo de água. Lachi e Sipaúba-Tavares (2008), analisando a água de viveiros com cultivo semi-intensivo de peixes, durante um ano, obtiveram valores de CE em uma faixa de 94 a  $135 \mu\text{S cm}^{-1}$  e a diferença entre as médias dos tratamentos foi de  $23,8 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Moreira et al. (2001) estabelecem que, em viveiros de piscicultura, valores desejáveis de CE estão entre 200 e  $1.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Em explorações intensivas, como a adotada no presente estudo, valores próximos aos menores valores dessa escala certamente podem conferir melhores condições de cultivo aos peixes.

A transformação de CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) em STD ( $\text{mg L}^{-1}$ ), sendo este comparável a salinidade, indica que o menor valor de STD foi  $131,52 \text{ mg L}^{-1}$  e o maior,  $241,40 \text{ mg L}^{-1}$ . De acordo com Boyd (2001), a maior parte dos peixes de água doce se desenvolve bem em águas com salinidade (sólidos totais dissolvidos – STD) até  $2.000 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{CE} \approx 3.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), mas

algumas espécies têm tolerância a concentrações mais elevadas. O autor também ressalta que o oxigênio dissolvido sofre redução com o incremento da salinidade, porém, esse efeito não é pronunciado nas variações de salinidade admitidas para a aquicultura de água doce.

**Tabela 18.** Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

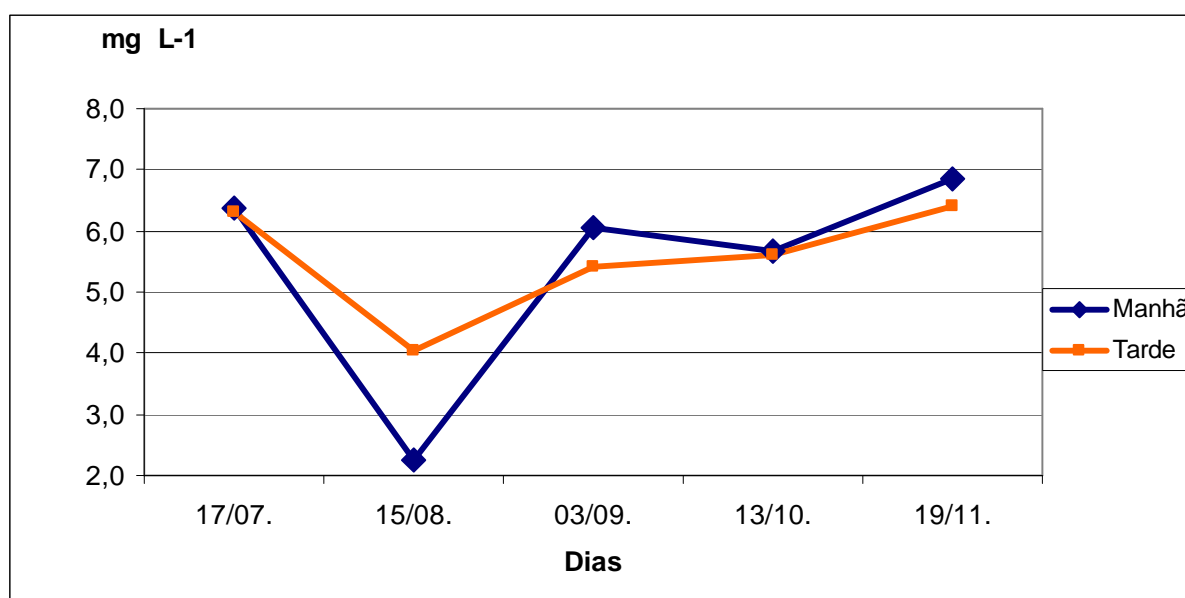
Tratamento <sup>2</sup>	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) - período de cultivo (datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	-	332,7 a	234,3 a	229,3 b	251,7 a
D1V2	-	354,3 a	206,7 c	225,3 b	239,3 b
D1V3	-	350,0 a	197,0d	230,0 b	225,3 c
D1V4	-	360,3 a	196,3 d	239,3 a	230,7 bc
D2V1	-	338,3 a	226,0 b	-	-
D2V2	-	333,3 a	207,0 c	227,3 b	236,7 bc
D2V3	-	349,3 a	201,3 cd	238,3 a	236,0 bc
D2V4	-	360,7 a	200,7 cd	236,7 a	232,7 bc
Tarde					
D1V1	186,0 a	233,7 AB	231,0 A	235,0 A	244,3 A
D1V2	183,0 a	214,3 C	219,0 CD	210,7 C	229,7 B
D1V3	184,3 a	216,0 BC	221,3 CD	203,0 EF	218,0 C
D1V4	179,7 a	211,7 C	223,0 BCD	201,7 F	221,3 BC
D2V1	191,0 a	237,0 A	232,0 A	-	-
D2V2	183,7 a	236,7 A	218,7 D	215,0 B	219,7 BC
D2V3	191,0 a	228,0 ABC	225,7 ABC	209,3 CD	225,3 BC
D2V4	190,0 a	215,0 BC	228,3 AB	206,7 DE	225,7 BC

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes  $\text{m}^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $\text{m}^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $\text{dia}^{-1}$  respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

O gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) é de fundamental importância para o metabolismo das algas e outros vegetais fotossintetizantes (SIPAÚBA-TAVARES, 1995). Esse gás entra no sistema aquático, principalmente como produto da respiração e decomposição aeróbica da matéria orgânica, sendo insignificante a sua difusão da atmosfera para a água (SCHMITTOU, 1997). Considerando-se os processos naturais no ambiente, altas concentrações de  $\text{CO}_2$  em viveiros geralmente ocorrem após grande mortalidade de fitoplâncton, desestratificação térmica e em presença de dias nublados (MOREIRA et al., 2001). As flutuações diurnas do  $\text{CO}_2$  influenciam diretamente o pH do meio, pois, a partir desse gás, pode haver a formação de carbonatos, bicarbonato ou ácido carbônico (SIPAÚBA-TAVARES, op. cit.).

No estudo com a tilápia Chitralada, as concentrações de gás carbônico permaneceram estáveis entre horários da manhã e tarde, na maior parte do período experimental (Figura 23). Diferenças significativas, porém de pequena magnitude ( $1,78 \text{ mg L}^{-1}$ ), foram registradas apenas aos 44 dias de cultivo (15/08), quando no horário da tarde as concentrações foram mais elevadas. Valores mais elevados de  $\text{CO}_2$  no início da manhã são comumente relatados para ambientes com cultivo de peixe (ESTEVES, 1998; KUBITZA, 2003; LIMA et al., 2008).



**Figura 23.** Teor de gás carbônico ( $\text{mg L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

Na avaliação do efeito das densidades e taxa de renovação de água sobre o gás carbônico na água dos tanques (Tabela 19), o teste de comparação indicou que no início do cultivo houve nítido efeito da densidade, com os maiores valores sendo registrados nos tanques de D2. A partir dos 44 dias de cultivo, foi possível verificar o efeito da taxa de renovação de água; quanto menor a renovação maior é o teor de  $\text{CO}_2$ . Na véspera do início da mortalidade dos peixes, no tratamento D2V1, os teores de  $\text{CO}_2$  apresentaram diferenças em relação ao restante,  $6,80 \text{ mg L}^{-1}$ , no turno da manhã, aumentando para  $7,33 \text{ mg L}^{-1}$  à tarde. Valores próximos a esse só foram encontrados novamente na última coleta para D1V1 e D2V2, indicando que a continuação do cultivo, nos moldes como estava sendo conduzido, poderia ocasionar perda dos peixes nesses tratamentos.

Os valores de  $\text{CO}_2$  observados ( $1,66$  a  $8,23 \text{ mg L}^{-1}$ ) estão dentro da faixa ( $0$  a  $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) encontrada para a aquicultura (ARANA, 2004b; LIMA et al., 2008). Boyd (2001) afirma que altas concentrações de dióxido de carbono podem ser toleradas pelas espécies aquícolas,

embora, conforme lembra Furtado (1995), os peixes evitem concentrações da ordem de 5 mg L<sup>-1</sup>.

**Tabela 19.** Teor de CO<sub>2</sub> (mg L<sup>-1</sup>) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008<sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Teor de CO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) - período de cultivo (datas-dias)				
	17/07-15	15/08-44	03/09-60	13/10-100	19/11-140
Manhã					
D1V1	6,000 b	2,100 ab	5,467 bc	6,767 a	8,233 a
D1V2	5,833 b	2,300 a	5,367 c	6,000 a	6,300 a
D1V3	5,500 b	2,400 a	6,067 abc	4,933 a	6,200 a
D1V4	5,833 b	1,667 b	7,033 a	5,267 a	5,600 a
D2V1	7,167 a	2,600 a	6,800 ab	-	-
D2V2	6,067 b	2,600 a	5,200 c	5,233 a	7,867 a
D2V3	7,500 a	2,200 a	6,267 abc	6,000 a	7,133 a
D2V4	7,167 a	2,233 a	6,333 abc	5,433 a	6,533 a
Tarde					
D1V1	6,000 B	5,100 a	5,167 BC	5,133 B	6,533 A
D1V2	5,667 B	3,133 a	4,133 CD	4,900 B	6,800 A
D1V3	5,433 B	3,167 a	5,467 BC	5,067 B	5,400 B
D1V4	5,767 B	4,567 a	3,533 D	4,867 B	5,400 B
D2V1	7,300 A	5,100 a	7,333 A	-	-
D2V2	5,967 B	3,167 a	6,500 AB	6,333 A	7,167 A
D2V3	7,400 A	4,367 a	5,400 BC	6,433 A	6,733 A
D2V4	6,933 A	3,733 a	5,900 AB	6,400 A	6,900 A

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes m<sup>-3</sup>), D2 (56 peixes m<sup>-3</sup>). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água dia<sup>-1</sup> respectivamente. 17/07, 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 15, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

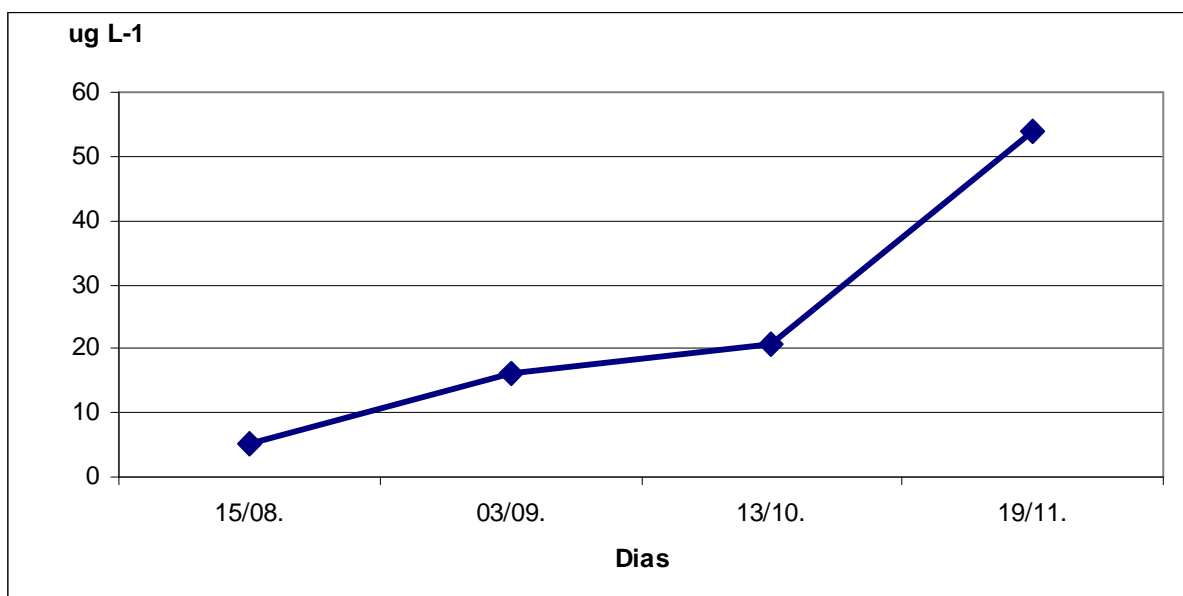
Sipaúba-Tavares (1995) opina que, embora o CO<sub>2</sub> seja necessário à vida aquática, em altas concentrações ele pode tornar-se extremamente perigoso para os peixes. Boyd (2001) recomenda que sejam evitadas exposições de peixes e camarões por vários dias a concentrações de gás carbônico acima de 10 mg L<sup>-1</sup>.

A clorofila *a* é o grupo de pigmentos fotossintéticos presente nos cloroplastos das algas ou plantas. Mediante o processo de fotossíntese, ela é capaz de transformar energia física (luz solar) em energia química (BORBA et al., 1998). A clorofila *a* é um dos principais responsáveis pela fotossíntese e, nos últimos anos, tem-se tornado cada vez mais frequente a utilização da concentração de clorofila para estimar a biomassa de fitoplâncton (ESTEVES, 1998). As concentrações de clorofila *a* estão intimamente ligadas às medidas de transparência



e turbidez. Assim, à medida que aumentam as suas concentrações, diminui a visibilidade do disco de Secchi e aumenta a turbidez (BORBA et al., 1998).

As concentrações de clorofila *a* apresentaram acréscimo ao longo do ciclo de cultivo dos peixes (Figura 24), saindo do valor médio de  $5,32 \mu\text{g L}^{-1}$  aos 44 dias de cultivo (15/08/2008) para  $53,87 \mu\text{g L}^{-1}$  aos 140 dias de cultivo (19/11/2008). De outro lado, quando foram estudados o efeito das densidades de estocagem e taxas de renovação de água, os valores permaneceram constantes em todos os tratamentos.



**Figura 24.** Teor de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 15/08, 03/09, 13/10 e 19/11, respectivamente, 44, 60, 100 e 140 dias de cultivo.

Os dados de clorofila *a* ao longo do cultivo apresentaram relação inversa com oxigênio dissolvido, indicando que o aumento nas suas concentrações não foi suficiente para suprir as demandas de oxigênio decorrentes do incremento na biomassa de peixes. Os dados também indicam que o suprimento diferenciado de oxigênio para os tratamentos não se deu em razão da presença de organismos fotossintetizadores. O perfil dos dados permite dizer que a redução da transparência e o aumento da turbidez estiveram associados com a clorofila, gerando uma relação inversa entre clorofila *a* e transparência, e direta com turbidez.

Os valores de clorofila *a* encontrados no início do experimento são comparáveis os obtidos por Sipaúba-Tavares (1995) em viveiros não fertilizados ( $2,9$  a  $8,8 \mu\text{g L}^{-1}$ ), enquanto os valores mais elevados estão situados dentro da faixa registrada em viveiros da UNESP-Jaboticabal ( $20$  a  $80 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

Para Boyd (2001), a concentração mínima ideal de clorofila *a* para a piscicultura é acima de 50  $\mu\text{g L}^{-1}$  e o ciclo diário de oxigênio é mais pronunciado nos viveiros com abundância de fitoplâncton. Na escassez de fitoplâncton ocorre uma quase uniformização dos teores de oxigênio durante o dia. Lima (2006) lembra que, em sistemas intensivos de produção de peixes, onde as necessidades de oxigênio devem ser supridas pela renovação de água ou pela adoção de estratégias como aeração mecânica, altas concentrações de clorofila *a* não são de grande valia. Acrescente-se a isso o fato de que os peixes não dependem do alimento natural e concentrações mais elevadas de clorofila *a* poderão comprometer a qualidade da água dada a sua capacidade de mobilizar oxigênio e liberar  $\text{CO}_2$  na ausência de radiação solar.

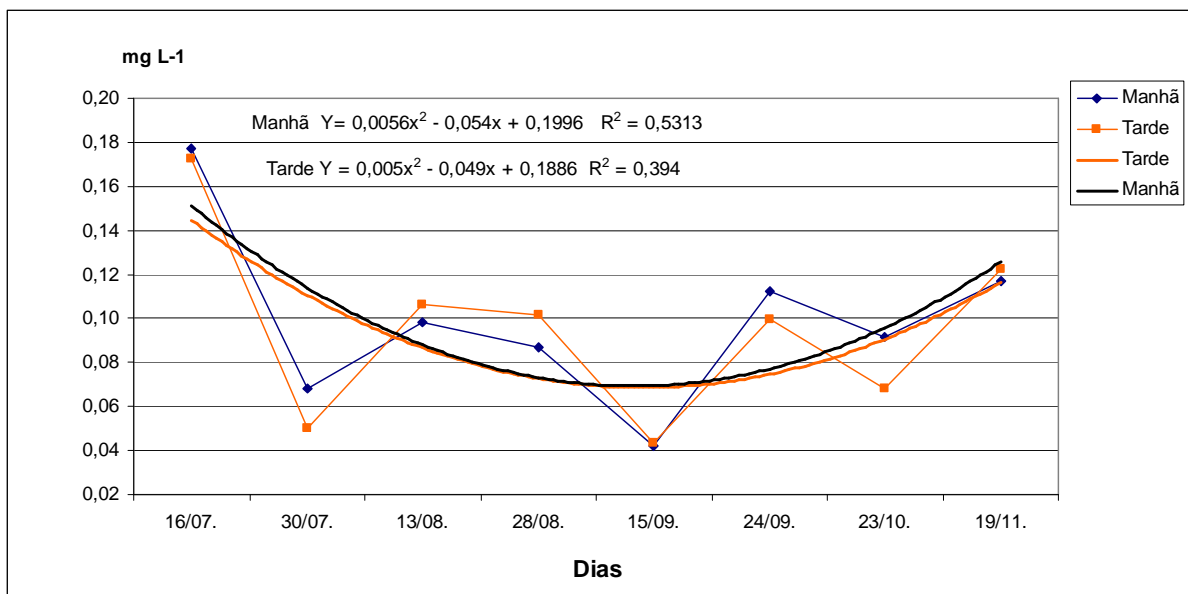
### 5.3.3. Nutrientes

No decorrer do estudo, as concentrações de amônia (forma ionizada) sofreram alterações, alternando aumento e diminuição, registrando-se os teores mais baixos aos 28 e 74 dias de cultivo. Esses dados, quando ajustados por uma equação de regressão, geraram duas curvas (manhã e tarde) com comportamento quadrático e  $R^2$  de 53,1 % e 39,4 % (Figura 25). Entre horários (manhã e tarde), as variações máximas foram da ordem de 0,023  $\text{mg L}^{-1}$  e mínimas de 0,001  $\text{mg L}^{-1}$ , sendo diferenças significativas registradas aos 28, 56 e 113 dias de cultivo.

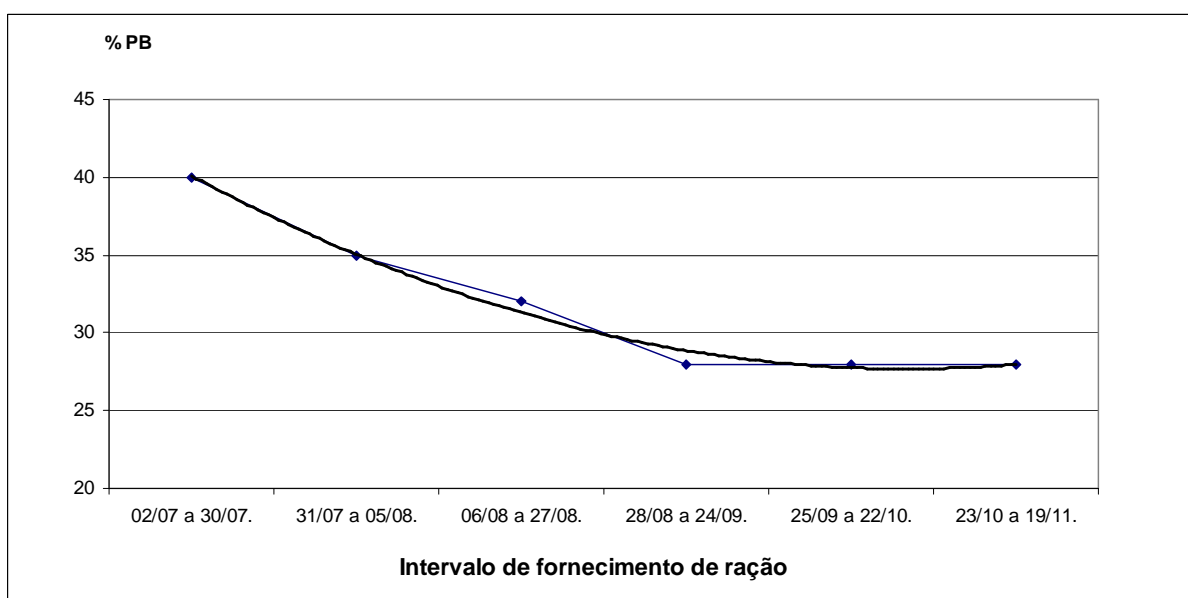
Yi et al. (2005a) encontraram uma grande variação aleatória dos teores de amônia total ao longo do ciclo de cultivo de tilápias, com diferentes doses semanais de nitrogênio na adubação dos viveiros, não tendo uma tendência de acréscimo ou decréscimo bem-definida.

Em ambos os horários, o perfil das curvas ajustadas para amônia (Figura 25) até aos 74 dias de cultivo apresentou perfil próximo ao da curva obtida para os teores de proteína bruta da ração fornecida aos peixes (Figura 26). A partir daí, mesmo diminuindo a proteína bruta da ração, as concentrações de amônia continuaram a aumentar, levando a dizer que o aumento da biomassa de peixes e, conseqüentemente, do volume de ração empregado foi o que mais contribuiu para o aporte desse composto.

Segundo Boyd (2001), em cultivos de peixes, grandes quantidades de nitrogênio entram pelo fornecimento de alimentos, em cujo processo a amônia é transferida para a água via decomposição dos alimentos não usados, fezes e metabólitos excretados pelas espécies cultivadas.



**Figura 25.** Teor de amônia ionizada ( $\text{mg L}^{-1}$ ) médio na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.



**Figura 26.** Teor de proteína bruta (%) na ração fornecida aos peixes ao longo do ciclo de cultivo, 2008.

De acordo com Pezzato et al. (2004), as rações de peixes devem conter entre 24,0 % e 50,0 % de proteína bruta, estando essas variações relacionadas com a espécie, a sua fase de desenvolvimento e o regime de exploração. Conforme os mesmos autores, os altos teores de proteína demandados pelos peixes são atribuídos ao fato de eles apresentarem menor consumo de energia, proveniente de gordura e carboidratos, e utilizarem mais eficientemente a proteína como fonte de energia uma vez que a excreção dos subprodutos de metabolização dos

aminoácidos (íon amônio –  $\text{NH}_4^+$  ou amônia não ionizada –  $\text{NH}_3$ ) é feita passivamente pelas brânquias.

Urbinati e Carneiro (2004) expõem que o uso de rações com teores de proteína que não resultem em quantidades excessivas de amônia, é aspecto de fundamental importância no cultivo intensivo de peixes. Liti et al. (2005) observaram que, diminuindo a qualidade da ração fornecida aos alevinos de tilápia, aumenta a concentração de amônia total na água dos viveiros.

No que concerne às densidades de estocagem e taxas de renovação de água (Tabela 20), em ambos os horários e em praticamente todos os monitoramentos, foram constatados efeitos significativos desses dois fatores sobre os teores de amônia. Até 42 dias de cultivo, os maiores teores foram encontrados na maior densidade (D2) e em D1 quando associada à menor taxa de renovação (V1). Esses dados comprovam que maior biomassa produz uma maior quantidade de amônia, da mesma forma que maior tempo de permanência da água nos tanques em razão da menor taxa de renovação e acúmulo de matéria orgânica. A combinação desses dois fatores fez que as concentrações de amônia se elevassem no D2V1, chegando a atingir valores de  $0,17 \text{ mg L}^{-1}$  pela manhã e  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$  à tarde, no período anterior à mortalidade total registrada nesse tratamento. Após esse evento, os maiores valores de amônia foram encontrados nos tratamentos D1V1 e D2V2, entretanto, mesmo no final do ciclo, o maior teor observado ( $0,14 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi menor que os registrados em D2V1 na ocasião crítica.

Green et al. (1994) observaram em viveiros de tilápia que a principal causa da deterioração da qualidade da água se deve às altas concentrações de amônia causadas pela alta frequência alimentar.

Pereira e Mercante (2005) expõem que, com o aumento da biomassa, o nível de amônia aumenta proporcionalmente ao aumento da quantidade de alimento fornecido. Sipaúba-Tavares (1995) informa que a tolerância dos peixes à amônia situa-se numa faixa entre 0,6 e  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ , porém, a mortalidade total do D2V1 foi registrada em concentrações inferiores a essas. Dados citados por Kubitz (2000) também dão conta de que diferentes espécies e híbridos de tilápias resistem, sem mortalidade, a concentrações de amônia superiores às observadas no presente estudo e, de forma especial, se forem adaptadas gradativamente às concentrações mais adversas. O autor também menciona que concentrações de amônia abaixo de  $0,24 \text{ mg L}^{-1}$  são consideradas adequadas às tilápias. O comportamento da amônia diante da renovação de água no presente estudo corrobora em parte com Boyd (2001), quando diz que o único meio viável de reduzir concentrações de amônia é mediante renovação da água.

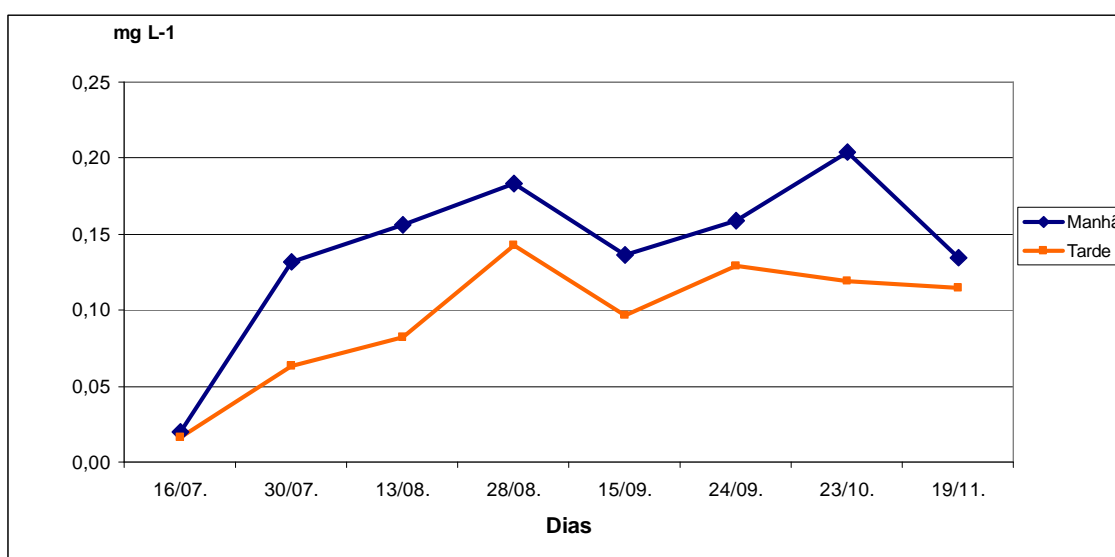
**Tabela 20.** Teor de amônia ionizada ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Teor de amônia ionizada ( $\text{mg L}^{-1}$ ) – período de cultivo (datas-dias)							
	16/07-14	30/07-28	13/08-42	28/08-56	15/09-74	24/09-83	23/10-113	19/11-140
Manhã								
D1V1	0,18 abc	0,06 c	0,08 c	0,12 b	0,08 a	0,15 a	0,14 a	0,13 a
D1V2	0,11 d	0,05 d	0,06 c	0,07 bc	0,05 b	0,12 a	0,08 bc	0,13 a
D1V3	0,15 bcd	0,04 d	0,07 c	0,04 d	0,03 b	0,08 a	0,07 cd	0,10 a
D1V4	0,13 cd	0,04 d	0,06 c	0,04 d	0,03 b	0,08 a	0,05 d	0,11 a
D2V1	0,21 ab	0,12 a	0,14 a	0,17 a	-	-	-	-
D2V2	0,22 a	0,09 b	0,15 a	0,11 bc	0,04 b	0,11 a	0,13 a	0,14 a
D2V3	0,21 ab	0,07 c	0,13 ab	0,08 bc	0,03 b	0,14 a	0,10b	0,11 a
D2V4	0,21 ab	0,07 c	0,11 b	0,07 cd	0,03 b	0,11 a	0,08 bc	0,10 a
Tarde								
D1V1	0,14 BCD	0,04 C	0,09 CD	0,12 B	0,09 A	0,14 AB	0,07 AB	0,14 A
D1V2	0,09D	0,04 C	0,07 D	0,06 D	0,05 BC	0,09 BC	0,06 C	0,12 AB
D1V3	0,15 BCD	0,03 C	0,08 D	0,07 CD	0,02 DE	0,06 C	0,06 C	0,10 B
D1V4	0,12 CD	0,03 C	0,07 D	0,06 D	0,01 E	0,06 C	0,06 C	0,10 B
D2V1	0,25 A	0,10 A	0,14 AB	0,20 A	-	-	-	-
D2V2	0,18 BC	0,07 B	0,16 A	0,13 B	0,06 AB	0,15 A	0,08 A	0,13 A
D2V3	0,26 A	0,06 B	0,13 B	0,08 CD	0,04 BCD	0,11 ABC	0,08 A	0,13 A
D2V4	0,19 AB	0,04 C	0,12 BC	0,09 C	0,03 CDE	0,10 ABC	0,07 AB	0,12 AB

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes  $\text{m}^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $\text{m}^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $\text{dia}^{-1}$  respectivamente. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

O nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um composto intermediário do processo de nitrificação e é rapidamente oxidado pela bactéria do gênero *Nitrobacter* para formar o nitrato (MENGEL e KIRKBY, 1978). Essa premissa explica o fato de os teores de nitrito gerados durante o ciclo de desenvolvimento dos peixes ter seguido a mesma tendência da amônia (final do ciclo da cultura) e do nitrato. Os teores de nitrito aumentaram até 56 dias de cultivo, diminuíram aos 74 dias de cultivo, seguido de recuperação até 113 dias e novo decréscimo no final do ciclo (Figura 27). Níveis mais elevados no final do experimento é um reflexo do aumento da biomassa. Esse fato também foi observado no trabalho de Yi et al. (2005a), cujas curvas de nitrito e nitrato apresentam características semelhantes ao longo dos 237 dias de coleta de dados.



**Figura 27.** Teor de nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

No tocante às diferenças entre horários (Tabela 21), as maiores concentrações de nitrito, assim como de amônia, foram encontradas no período da manhã, com diferenças estatísticas em cinco dos oito períodos monitorados. A taxa de renovação de água e a densidade de estocagem também tiveram seus efeitos detectados. Até 56 dias de cultivo, os maiores valores de nitrito foram encontrados no D2V1. Após a mortalidade dos peixes desse tratamento, as maiores quantidades de nitrito ocorreram em D1V1, mostrando que a renovação diária de água de 200 % (V1) não foi suficiente para remover a amônia dos tanques e, assim, evitar a sua oxidação a nitrito.

**Tabela 21.** Teor de nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Teor de nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ) – período de cultivo (datas-dias)							
	16/07-14	30/07-28	13/08-42	28/08-56	15/09-74	24/09-83	23/10-113	19/11-140
Manhã								
D1V1	0,02 a	0,15 ab	0,28 a	0,52 a	0,42 a	0,42 a	0,54 a	0,38 a
D1V2	0,01 a	0,08 b	0,11 c	0,14 c	0,16 b	0,25 b	0,18 bc	0,12 b
D1V3	0,01 a	0,05 b	0,10 c	0,06 cd	0,13 bc	0,12 c	0,09 c	0,09 b
D1V4	0,01 a	0,05 b	0,11 c	0,04 d	0,10 bc	0,09 c	0,05 c	0,09 b
D2V1	0,02 a	0,30 a	0,22 ab	0,29 b	-	-	-	-
D2V2	0,02 a	0,17 ab	0,16 bc	0,23 b	0,05 c	0,09 c	0,26 b	0,11 b
D2V3	0,02 a	0,10 b	0,15 bc	0,11 cd	0,05 c	0,08 c	0,18 bc	0,08 b
D2V4	0,05 a	0,16 ab	0,11 c	0,07 cd	0,04 c	0,07 c	0,12 bc	0,07 b
Tarde								
D1V1	0,01 B	0,12 B	0,09 AB	0,38 A	0,30 A	0,41 A	0,19 A	0,31 A
D1V2	0,01 B	0,03 C	0,04 B	0,07 D	0,12 B	0,15 B	0,08 B	0,10 B
D1V3	0,01 B	0,02 C	0,04 B	0,05 DE	0,09 BC	0,05 BC	0,06 B	0,07 B
D1V4	0,01 B	0,02 C	0,04 B	0,03 E	0,06 C	0,04 C	0,05 B	0,07 B
D2V1	0,01 B	0,18 A	0,16 A	0,31 B	-	-	-	-
D2V2	0,02 B	0,07 BC	0,14 A	0,18 C	0,04 C	0,12 BC	0,19 A	0,10 B
D2V3	0,02 B	0,03 C	0,09 AB	0,06 DE	0,04 C	0,08 BC	0,18 A	0,08 B
D2V4	0,03 A	0,03 C	0,06 B	0,07 DE	0,03 C	0,06 BC	0,08 B	0,07 B

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes  $\text{m}^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $\text{m}^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $\text{dia}^{-1}$  respectivamente. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

O máximo valor de nitrito foi de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e o menor, de 0,01 mg L<sup>-1</sup>. Arana (2004a) informa que a faixa de valores encontrada para o cultivo de peixes de água doce fica entre 0,19 e 3,80 mg L<sup>-1</sup> e a concentração letal do nitrito varia com a espécie aquática e com o tempo de exposição.

Em altas concentrações, o nitrito provoca a oxidação do átomo de ferro da molécula da hemoglobina do sangue, convertendo-a em meta-hemoglobina, molécula incapaz de transportar oxigênio, estabelecendo-se um quadro de hipoxia e cianose (DURBOROW et al., 1997). Por ser instável na presença do oxigênio (GORSEL e JENSEN, 1999), o nitrito pode ter suas concentrações reduzidas pela renovação da água (BOYD, 2001). O efeito danoso desse composto ao organismo dos peixes pode ser minimizado com a adição de sal comum à água. Isso ocorre porque o íon cloreto compete com o nitrito pelo mesmo sistema de entrada no epitélio branquial, diminuindo a passagem de nitrito e, com isso, evitando altas concentrações desse elemento na corrente sanguínea do peixe (TOMASSO, 1994).

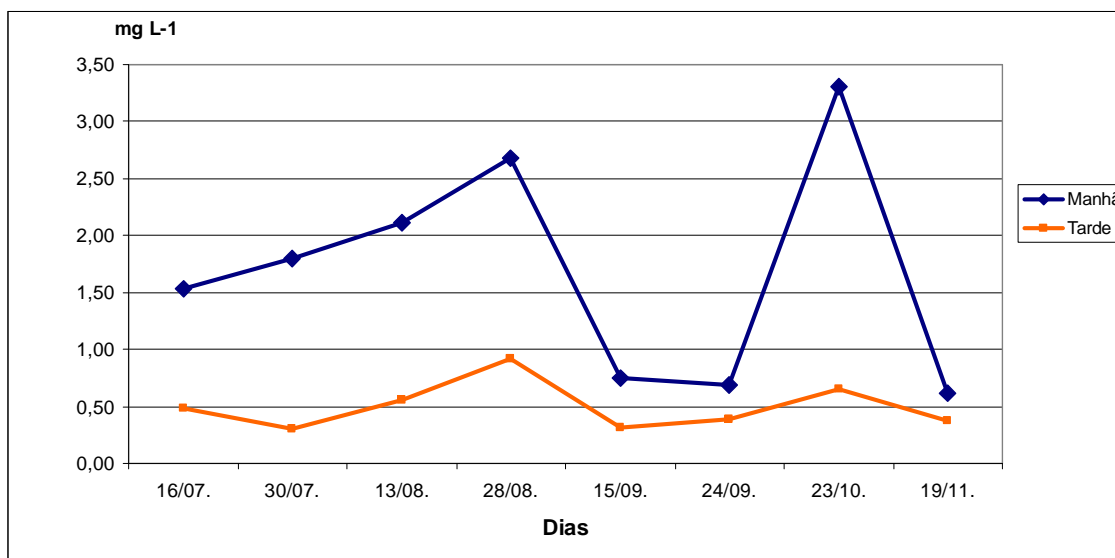
Em trabalho de Al-Hafedh et al. (2003), com alta densidade de tilápia (200 peixes m<sup>-3</sup>), em sistema com recirculação de água, observou-se que o teor de nitrito não variou com a biomassa dos peixes, sendo essa variação totalmente aleatória. Os valores encontrados estavam em uma faixa entre 0,04 e 0,51 mg L<sup>-1</sup>. Silva et al. (2002), também com alta densidade de estocagem e no sistema *raceway* com grande renovação de água (trocas totais de água a cada 30 e 60 minutos), encontraram teores de nitrito variando entre 0,002 e 0,02 mg L<sup>-1</sup>.

Durante o ciclo de cultivo, os valores de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) apresentaram diferenças relacionadas com o horário de monitoramento, com a densidade de estocagem e com a renovação de água. Assim, em todos os monitoramentos realizados, as maiores concentrações foram registradas pela manhã (Figura 28). Em ambos os horários, foram observados dois picos de nitrato, o primeiro aos 56 dias de cultivo e o segundo aos 113 dias. No horário da manhã, as concentrações atingiram, respectivamente, 2,98 e 3,74 mg L<sup>-1</sup> e à tarde, 0,70 e 0,81 mg L<sup>-1</sup>. Os mais altos valores no horário da manhã e até 56 dias de cultivo puderam ser creditados às maiores concentrações de oxigênio, que, via de regra, favorecem mais os processos de nitrificação.

Teores de proteína bruta mais altos na ração na primeira fase do cultivo e aumento da biomassa respondem também por elevação das concentrações dos compostos nitrogenados (PEREIRA e MERCANTE, 2005). Segundo Arana (2004a), as reações de nitrificação são mais rápidas em temperaturas de 25 °C a 35 °C, com pH entre 7 e 8. O pH variou de 6,8 a 7,8 e a temperatura ficou situada entre 27,1 °C e 30,8 °C. Yi et al. (2005a) observaram que os



teores de nitrato e amônia total apresentaram variações semelhantes durante os 237 dias de cultivo de tilápias em viveiros.



**Figura 28.** Teor de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

Quando foram estudados os efeitos da densidade de estocagem e a taxa de renovação de água sobre as concentrações de nitrato na água (Tabela 22), observou-se que no horário da manhã diferenças significativas inerentes a esses fatores ocorreram em quatro ocasiões (aos 28, 74, 83 e 140 dias de cultivo). A partir de 56 dias de cultivo, a renovação de água foi determinante para a elevação das concentrações de nitrato, indicando que a renovação diária de 200 % do volume de água (D1V1) não foi suficiente para diminuir a carga de resíduos proveniente do incremento de biomassa (Tabela 22).

O valor mínimo de nitrato foi de  $0,18 \text{ mg L}^{-1}$  e o máximo, de  $3,74 \text{ mg L}^{-1}$ . Arana (2004b) menciona que as concentrações médias padrão do nitrato da água observadas em aquicultura ficam entre 0 e  $3 \text{ mg L}^{-1}$ . Boyd (2001) amplia essa faixa para valores de 0,2 a  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . Urbinati e Carneiro (2004) citam que, para garantir melhores condições de saúde aos peixes, as concentrações de nitrato devem ser inferiores a  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Logo, é possível dizer que na maior parte do período experimental, no horário da manhã, os peixes encontravam-se em condições de estresse, o que certamente comprometeu o seu desempenho.

Al-Hafedh et al. (2003), em cultivo de tilápia (peso inicial de 110 g) durante 70 dias, sistema com recirculação de água e densidade de 200 peixes  $\text{m}^{-3}$ , relataram que o teor de

**Tabela 22.** Teor de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Teor de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) – período de cultivo (datas-dias)							
	16/07-14	30/07-28	13/08-42	28/08-56	15/09-74	24/09-83	23/10-113	19/11-140
Manhã								
D1V1	1,22 a	1,72 bcde	2,31 a	2,95 a	1,40 a	1,10 a	3,14 a	1,36 a
D1V2	1,82 a	1,56 de	2,06 a	2,39 a	0,78 b	0,75 b	3,19 a	0,70 b
D1V3	1,72 a	1,81 bcd	2,22 a	2,56 a	0,69 b	0,67 b	2,96 a	0,48 b
D1V4	2,13 a	2,00 abc	2,30 a	2,98 a	0,79 b	0,70 b	3,74 a	0,57 b
D2V1	1,09 a	1,44 e	2,11 a	2,11 a	-	-	-	-
D2V2	1,76 a	1,69 cde	1,91 a	2,37 a	0,44 b	0,47 b	2,98 a	0,47 b
D2V3	1,26 a	2,03 ab	1,87 a	2,93 a	0,56 b	0,53 b	3,79 a	0,43 b
D2V4	1,26 a	2,14 a	2,13 a	3,13 a	0,56 b	0,58 b	3,33 a	0,35 b
Tarde								
D1V1	0,57 a	0,26 BC	0,68 AB	1,62 A	0,58 A	0,85 A	0,76 AB	0,93 A
D1V2	0,58 a	0,30 BC	0,45 D	0,74 BC	0,38 B	0,43 B	0,69 ABC	0,45 B
D1V3	0,32 a	0,27 BC	0,52 CD	0,67 BC	0,35 BC	0,25 C	0,57 BC	0,24 B
D1V4	0,48 a	0,22 C	0,45 D	0,50 C	0,27 BC	0,22 C	0,51 C	0,27 B
D2V1	0,39 a	0,47 A	0,63ABC	1,69 A	-	-	-	-
D2V2	0,48 a	0,36 AB	0,70 A	0,88 B	0,18 C	0,37 BC	0,81 A	0,28 B
D2V3	0,54 a	0,26 BC	0,55 BCD	0,60 BC	0,21 C	0,33 BC	0,68 ABC	0,27 B
D2V4	0,48 a	0,26 BC	0,47 D	0,61 BC	0,20 C	0,31 BC	0,56 BC	0,23 B

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

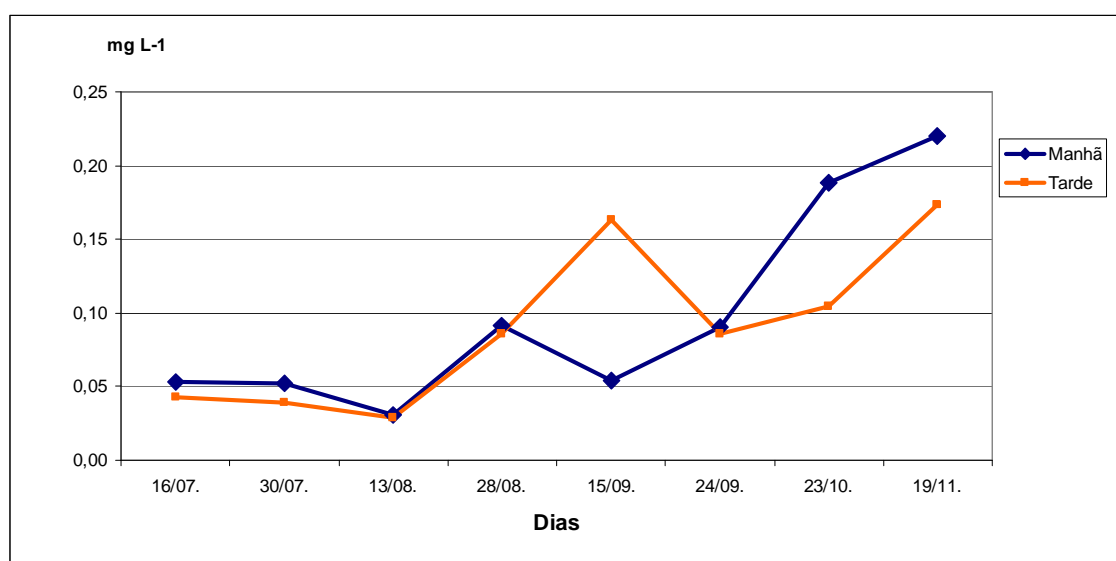
<sup>2</sup> D1 (28 peixes  $\text{m}^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $\text{m}^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $\text{dia}^{-1}$  respectivamente. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

nitrito variou de 9 a 27 mg L<sup>-1</sup>, sem prejuízo aos parâmetros produtivos dos peixes. Esses valores são superiores aos encontrados no presente experimento, utilizando-se livre circulação de água. Os valores obtidos por Silva et al. (2002) para os teores de nitrito (0,04 a 0,31 mg L<sup>-1</sup>) são inferiores, pois o sistema de cultivo ocorreu com taxa de renovação de água muito maior do que as utilizadas no presente experimento. Yi et al. (2005b), em sistema de policultivo integrado, com duas espécies aquícolas, fazendo adubação semanal dos viveiros com 28 kg N ha<sup>-1</sup> e 7 kg P ha<sup>-1</sup>, obtiveram no final do ciclo teores de nitrito variando entre 0,62 e 1,06 mg L<sup>-1</sup>.

Ainda é possível dizer que, mesmo em sistemas integrados, onde o nitrito seja disponibilizado para culturas agrícolas, o menor consumo de água (1.260 m<sup>3</sup> durante o ciclo) não garante que o tratamento D1V1 seja o melhor, pois a biomassa produzida (53,73 kg) foi a menor entre todos os tratamentos.

Nos sistemas aquícolas, são os ortofosfatos as principais formas de P inorgânico (KUBITZA, 1999) e o íon HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> é o mais comum e a principal forma utilizada pelos vegetais (MENGEL e KIRKBY, 1978).

A avaliação dos dados obtidos para ortofosfato indica que as concentrações aumentaram com o período de cultivo e que diferença estatística entre horários (Figura 29) ocorreu apenas aos 74 dias de cultivo, quando valor mais elevado foi registrado à tarde. Aos 113 e 140 dias de cultivo, os valores mais elevados foram obtidos pela manhã, entretanto, não foi detectado efeito do horário de coleta.



**Figura 29.** Teor de ortofosfato (mg L<sup>-1</sup>) na água dos tanques durante o ciclo de cultivo de tilápia, 2008. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

O incremento no ortofosfato, assim como nos compostos nitrogenados, pode ser atribuído ao incremento na quantidade de ração fornecida aos tanques de acordo com a biomassa.

Para os fatores densidade de estocagem e taxas de renovação, foi visto que no horário da manhã (Tabela 23), as concentrações de ortofosfato aos 14, 42, 74 e 140 dias de cultivo se mantiveram estáveis em todos os tratamentos. Aos 28, 56, 83 e 113 dias, as diferenças registradas apontaram maiores concentrações para as águas cujos tanques receberam os tratamentos D1V1, D2V1 e D2V2; apenas em uma ocasião (83 dias de cultivo), os valores do D1V2 foram comparáveis a esses.

No horário da tarde, a taxa de renovação foi determinante para a obtenção das diferenças nas concentrações de ortofosfato. Assim, os tanques com renovação de 200 % e 400 % dia<sup>-1</sup> resultaram em maiores concentrações, com destaque para o tratamento D1V1, em que maiores níveis de ortofosfato perduraram por mais tempo.

Os teores de ortofosfato ficaram entre 0,02 e 0,36 mg L<sup>-1</sup>, sendo este o maior valor registrado no tratamento D1V1. Zimmermann e Fitzsimmons (2004) reportam para tilápias mantidas em altas densidades, em tanques com recirculação, valores de fosfato da ordem de 53 mg L<sup>-1</sup>, bem superiores aos do presente estudo. De outro lado, Boyd (2001) relata, como uma variação aceitável em viveiros de aquicultura, valores de fosfato entre 0,005 e 0,20 mg L<sup>-1</sup>. Ainda de acordo com Boyd, nos viveiros onde é utilizada alimentação artificial, parte do fósforo contido no alimento não é assimilada pelas espécies cultivadas e permanece na água, servindo para estimular a produção de fitoplâncton.

Sousa et al. (2008), trabalhando com o cultivo de tilápias do Nilo em tanques-rede instalados em um viveiro, verificaram, após quatro meses de cultivo, teor de fósforo de 0,14 mg L<sup>-1</sup> e concluíram que a concentração de fósforo na água apresentou correlação positiva com a biomassa de peixes. Entretanto, Silva et al. (2002) obtiveram teores de ortofosfato (0,08 a 0,92 mg L<sup>-1</sup>) semelhantes aos encontrados no presente experimento em virtude de o seu trabalho ser desenvolvido em sistema de *raceway*.

Os teores de ortofosfato disponíveis para utilização em cultivos agrícolas (Tabela 23) foram maiores nos tratamentos com menores taxas de renovação de água, D1V1 (0,13 mg L<sup>-1</sup>) e D2V2 (0,12 mg L<sup>-1</sup>). A baixa taxa de renovação de água proporcionou maior concentração de ortofosfato nos tanques de cultivo. O tratamento D2V2 apresentou maior produção de biomassa do que o D1V1, com o segundo menor consumo de água durante o ciclo de

**Tabela 23.** Teor de ortofosfato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos da manhã e da tarde em razão da densidade de estocagem (D) e da taxa de renovação (V) de água durante 140 dias de cultivo de tilápia em tanques, 2008 <sup>1</sup>.

Tratamento <sup>2</sup>	Teor de ortofosfato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) – período de cultivo (datas-dias)							
	16/07-14	30/07-28	13/08-42	28/08-56	15/09-74	24/09-83	23/10-113	19/11-140
Manhã								
D1V1	0,05 a	0,04 cd	0,03 a	0,13 a	0,07 a	0,15 a	0,36 a	0,28
D1V2	0,04 a	0,04 cd	0,02 a	0,08 b	0,05 a	0,11 ab	0,17 bc	0,21
D1V3	0,04 a	0,04 cd	0,02 a	0,06 b	0,05 a	0,08 bc	0,11 c	0,15
D1V4	0,03 a	0,03 d	0,02 a	0,06 b	0,04 a	0,08 bc	0,09 c	0,17
D2V1	0,05 a	0,09 a	0,04 a	0,14 a				
D2V2	0,05 a	0,07 ab	0,03 a	0,13 a	0,10 a	0,08 bc	0,27 ab	0,29
D2V3	0,11 a	0,06 bc	0,05 a	0,06 b	0,03 a	0,07 bc	0,16 bc	0,20
D2V4	0,06 a	0,05 bcd	0,02 a	0,06 b	0,04 a	0,06 c	0,16 bc	0,23
Tarde								
D1V1	0,03 a	0,03 a	0,02 C	0,18 A	0,77 A	0,16 A	0,16 a	0,27
D1V2	0,02 a	0,04 a	0,03 ABC	0,07 B	0,13 B	0,08 BC	0,10 a	0,16
D1V3	0,02 a	0,03 a	0,02 C	0,05 B	0,15 B	0,05 C	0,09 a	0,12
D1V4	0,02 a	0,03 a	0,02 BC	0,04 B	0,11 B	0,05 C	0,08 a	0,13
D2V1	0,12 a	0,07 a	0,04 A	0,16 A				
D2V2	0,09 a	0,04 a	0,04 A	0,07 B	0,28 B	0,12 B	0,09 a	0,20
D2V3	0,02 a	0,04 a	0,03 ABC	0,06 B	0,14 B	0,07 C	0,10 a	0,15
D2V4	0,04 a	0,04 a	0,03 AB	0,06 B	0,17 B	0,07 C	0,11 a	0,19

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan; as letras minúsculas correspondem ao período da manhã e as maiúsculas, ao período da tarde.

<sup>2</sup> D1 (28 peixes  $\text{m}^{-3}$ ), D2 (56 peixes  $\text{m}^{-3}$ ). V1, V2, V3 e V4 = 200 %, 400 %, 600 % e 800 % de renovação de água  $\text{dia}^{-1}$  respectivamente. 16/07, 30/07, 13/08, 28/08, 15/09, 24/09, 23/10 e 19/11, respectivamente, 14, 28, 42, 56, 74, 83, 113 e 140 dias de cultivo.

produção. Portanto, dentro do sistema integrado agricultura-aquicultura, o D2V2 é o tratamento com os melhores índices.

Os valores encontrados no presente trabalho estão abaixo dos citados por Zimmermann e Fitzsimmons (2004) para sistemas de recirculação povoados com tilápias em altas densidades: 19,2 mg L<sup>-1</sup> de amônia, 181 mg L<sup>-1</sup> de nitrato e 53 mg L<sup>-1</sup> de fosfatos.

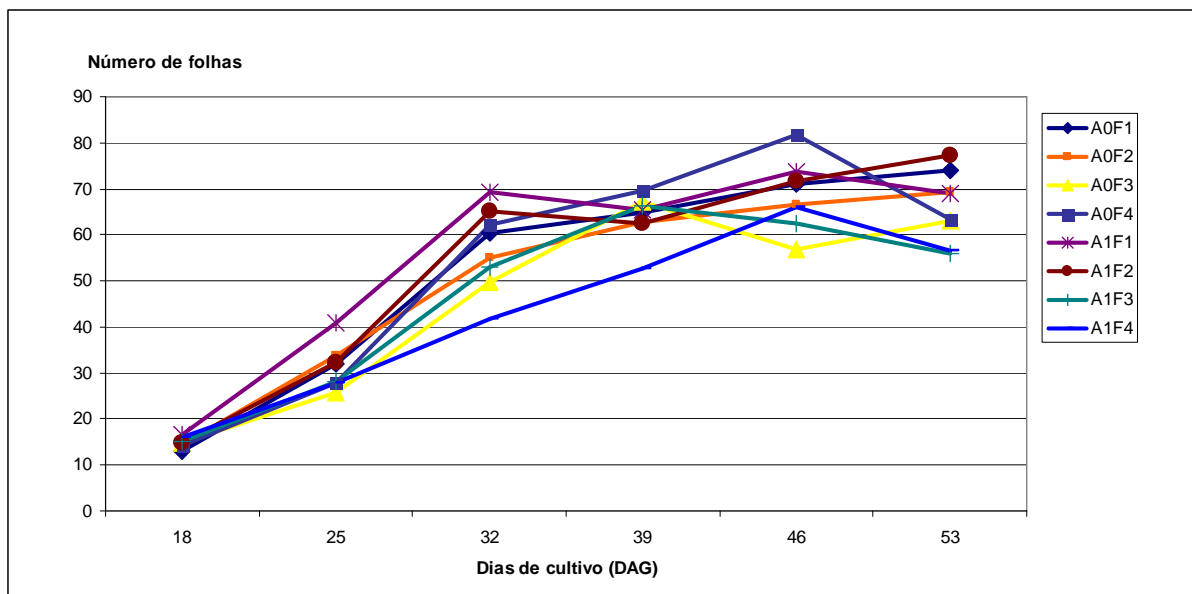
## **5.4. Desenvolvimento do cultivo de feijão-caupi**

### **5.4.1. Análise de crescimento das plantas**

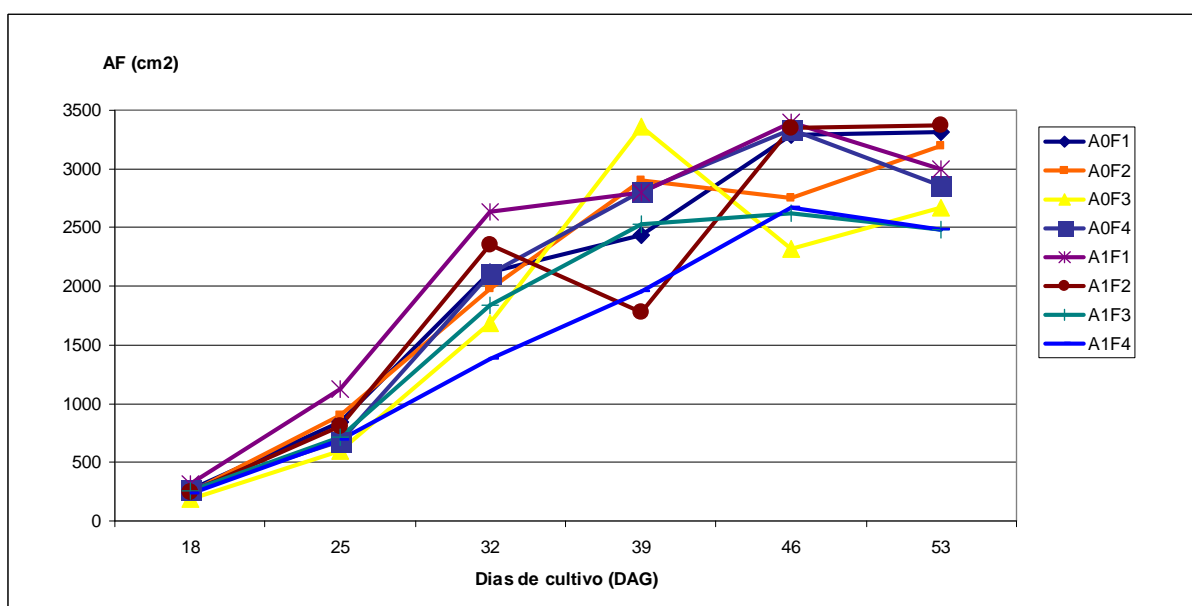
O desenvolvimento foliar da cultura do feijão-caupi é importante, pois o ciclo da cultura é curto, havendo necessidade de uma rápida resposta à disponibilidade de energia solar para acumulação de carboidratos. O número de folhas é fundamental para o estabelecimento de vários índices fisiológicos. A área foliar mostra a superfície vegetal com potencial para realizar o processo de fotossíntese; quanto maior essa área, maior a capacidade das plantas de produzir fotoassimilados. Os valores obtidos durante todo o ciclo da cultura possibilitam o estabelecimento de um modelo do crescimento e do desenvolvimento da planta e, em consequência, padrões de produtividade e de produção total da cultura.

Nas Figuras 30 e 31, estão apresentadas a quantidade de folhas e a área foliar ao longo do ciclo de crescimento do feijão-caupi. O aumento do número de folhas ocorreu em todos os tratamentos durante o ciclo de cultivo, e mesmo no final do ciclo de cultivo a quantidade de folhas nas plantas foi alta, chegando a 77,1 folhas por planta no A1F2. Não houve efeito significativo dos tratamentos quanto ao número de folhas e à área foliar em todas as datas de coletas, com exceção da coleta realizada aos 32 dias após a germinação (DAG), em que houve diferença entre os tratamentos. A variação nessa data apresentou um número de folhas entre 41,6 folhas (A1F4) e 69,4 folhas (A1F1), e a área foliar crescendo de A1F4 (1.381,6 cm<sup>2</sup>) para A1F1 (2.635,4 cm<sup>2</sup>), mostrando uma relação numérica positiva entre as duas variáveis. Essa correlação ocorreu, com pequenas variações, em todas as datas de coleta; quanto maior número de folhas, maior a área foliar.

As diferentes doses de fertilizante e a aplicação das duas águas de irrigação (com e sem efluente da piscicultura) não produziram efeitos significativos sobre a cultura do feijão-caupi nas condições pedoclimáticas de desenvolvimento do experimento para as variáveis número de folhas e área foliar.



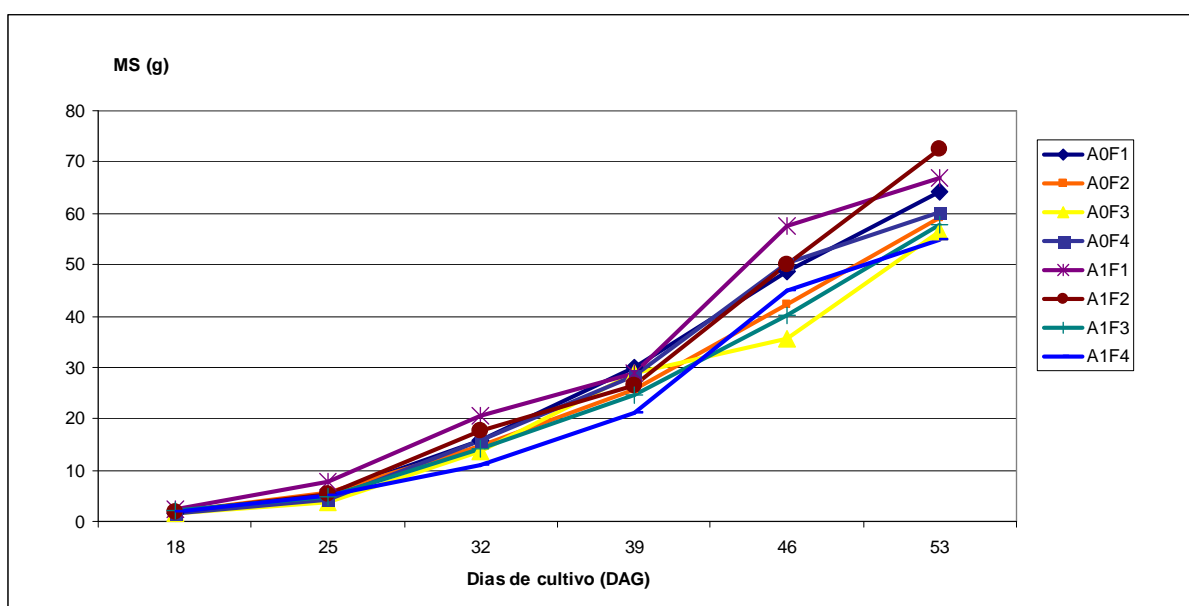
**Figura 30.** Número de folhas por planta em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.



**Figura 31.** Área foliar (AF) por planta em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

Segundo Oliveira e Dantas (1984), esse fato ocorre porque o suprimento de nitrogênio, fósforo e potássio foi adequado às plantas, pois os primeiros sintomas de deficiência desses nutrientes são reduções do número de folhas, da área foliar e do crescimento das plantas, com um desfolhamento prematuro.

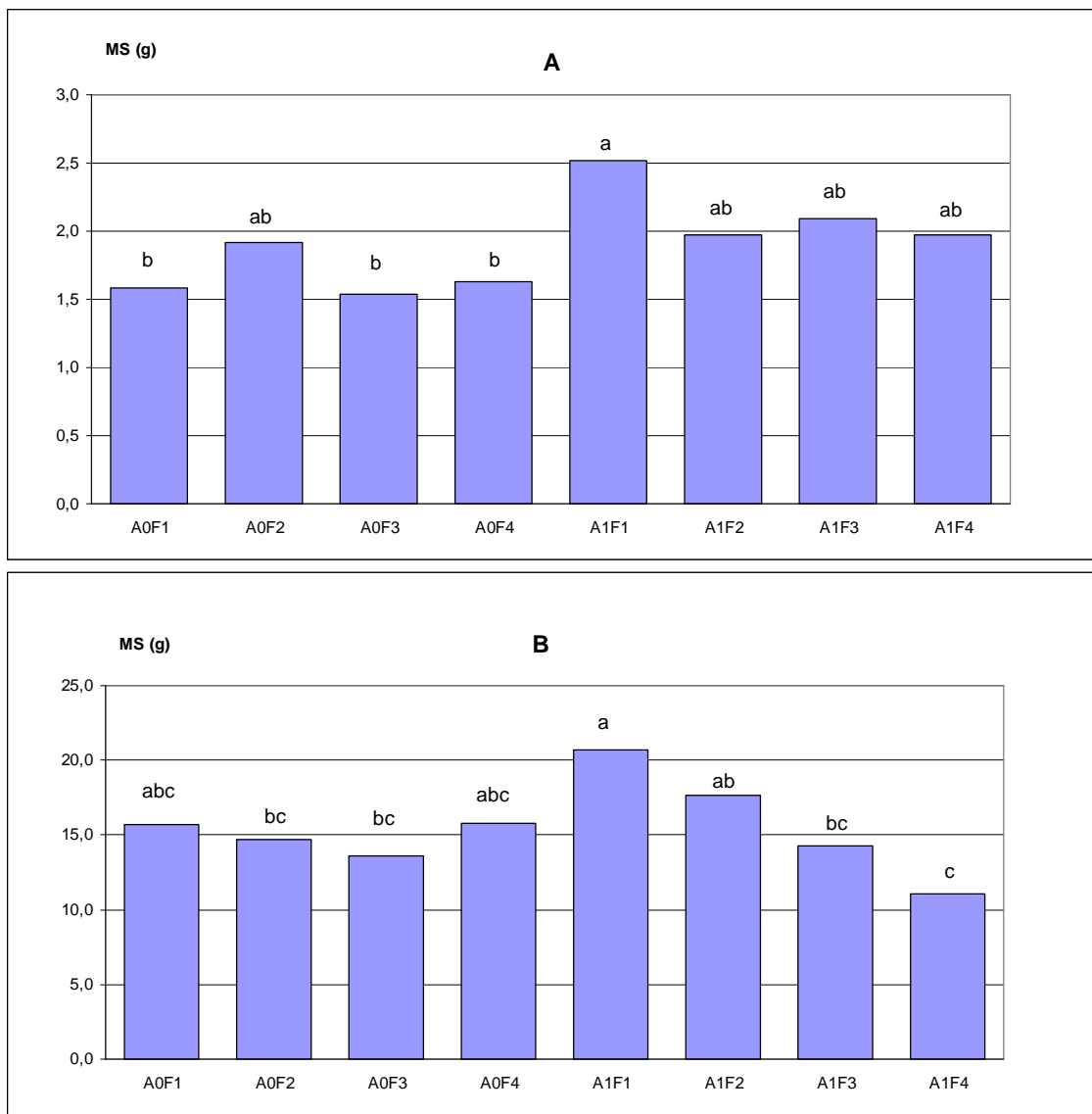
A matéria seca mostra a quantidade de fotoassimilados incorporados aos diferentes órgãos da planta durante o seu crescimento. Na Figura 32, é apresentada a evolução da matéria seca nas várias datas de coleta de material vegetal. Nas coletas realizadas aos 25, 39, 46 e 53 DAG, não houve efeito significativo dos tratamentos quanto aos valores para essa variável. A matéria seca acumulada na parte aérea registrou valor médio na primeira coleta de 1,90 g por planta evoluindo até ao valor médio de 61,55 g por planta aos 54 DAG (um incremento de 3.140 %).



**Figura 32.** Matéria seca (MS) vegetal por planta em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi BRS Guariba. DAG – dias após a germinação. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

Na primeira data de coleta de material (18 DAG), houve diferença entre os tratamentos para os valores da matéria seca, tendo-se observado efeito do efluente (Figura 33-A). Na terceira coleta (32 DAG), também foi detectada diferença entre os vários tratamentos (Figura 33-B), cujo menor valor de matéria seca foi 11,05 g por planta (A1F4) e o maior, 20,72 g por planta (A1F1), sendo observado o efeito das doses de fertilizantes nos tratamentos com efluente; entretanto, nos tratamentos com água de irrigação da UEP-Parnaíba, isso não foi verificado.

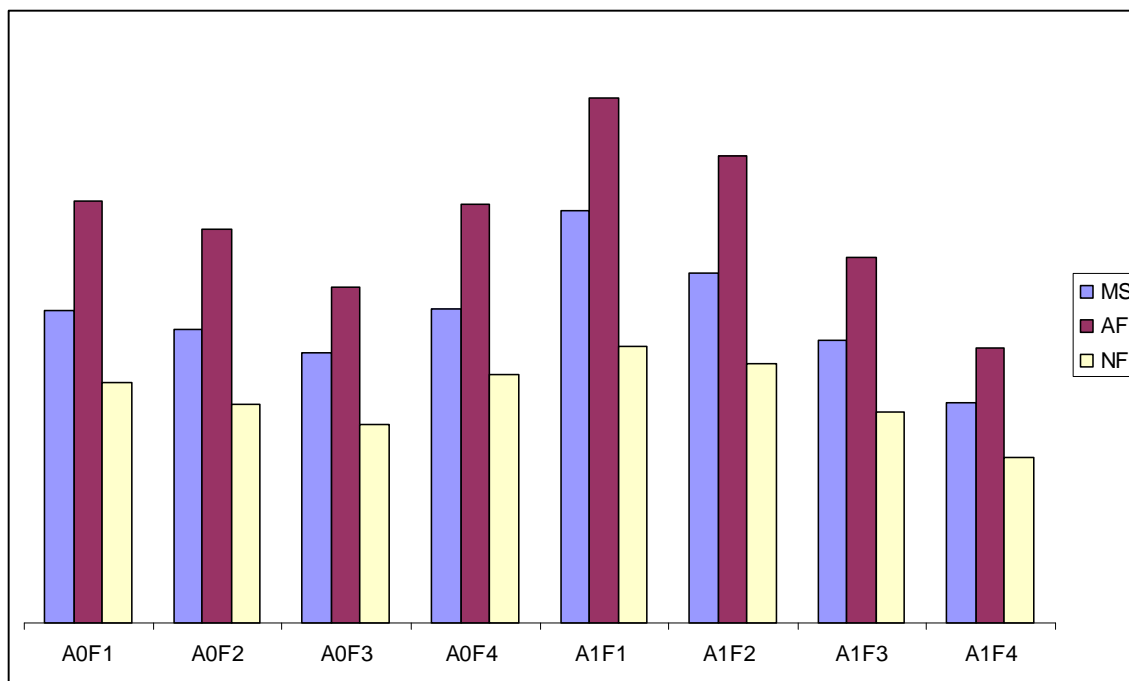




**Figura 33.** Valores de matéria seca (MS) por planta na cultura do feijão-caupi aos 18 DAG (A) e aos 32 DAG (B). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

A variação da matéria seca está diretamente correlacionada ao número de folhas por planta, bem como à área foliar (Figura 34). A relação entre as variáveis foi positiva, pois com maior área foliar, maior a atividade fotossintética e, conseqüentemente, maior a quantidade de matéria seca acumulada nas plantas.

A produção de matéria seca aumenta proporcionalmente com o aumento do IAF – índice de área foliar (relação direta com a área foliar) até atingir determinado valor, resultando em aumento da produtividade de grãos; acima desse valor, não há mais proporcionalidade (SANTOS e FAGERIA, 2008).



**Figura 34.** Variações da matéria seca (MS), área foliar (AF) e número de folhas (NF) no cultivo do feijão-caupi, BRS Guariba, aos 32 DAG. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

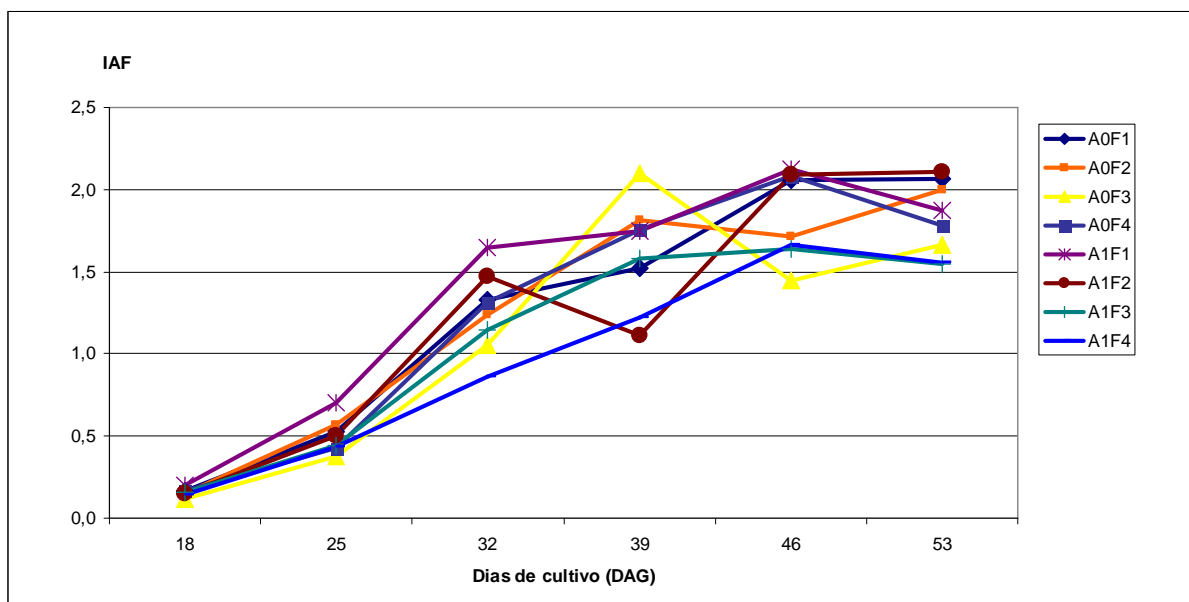
A diferença entre os tratamentos apenas na coleta 32 DAG para as variáveis número de folhas, área foliar e matéria seca não foi suficiente para provocar diferenças entre os dados obtidos para os componentes de produção e da produtividade do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, tanto para produção de grãos verdes como para grãos secos.

Almeida et al. (2000), em trabalho com a cultura do feijoeiro, cv. IAC Carioca, fazendo aplicação de N em cobertura via solo, não encontraram variação na matéria seca das plantas e no teor de N nas folhas, utilizando duas doses de nitrogênio, 0 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup>.

Com os dados obtidos de área foliar, foi possível determinar o IAF, que corresponde à capacidade da planta de ocupar o terreno disponível para o seu desenvolvimento. Os valores do IAF têm relação positiva com os valores de área foliar, pois quanto maior a área foliar, maior o IAF.

Não foram verificados efeitos significativos entre os tratamentos em todas as datas de coleta, durante o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi, exceto novamente na coleta aos 32 DAG, com os valores de IAF variando entre 0,86 (A1F4) e 1,65 (A1F1). O IAF aumentou, gradativamente, ao longo do ciclo (Figura 35), com valores médios de 0,16, 0,50, 1,26, 1,61, 1,85 e 1,82 respectivamente na sequência das coletas. Entre a primeira e a segunda coleta, o aumento foi de 214 %, mostrando uma grande produção de folhagem no intervalo de uma semana. A partir da segunda coleta, o incremento do IAF foi reduzindo para 153 %, 28

%, 15 % e -1,6 %. Este último valor significa que houve uma pequena perda de cobertura vegetal.



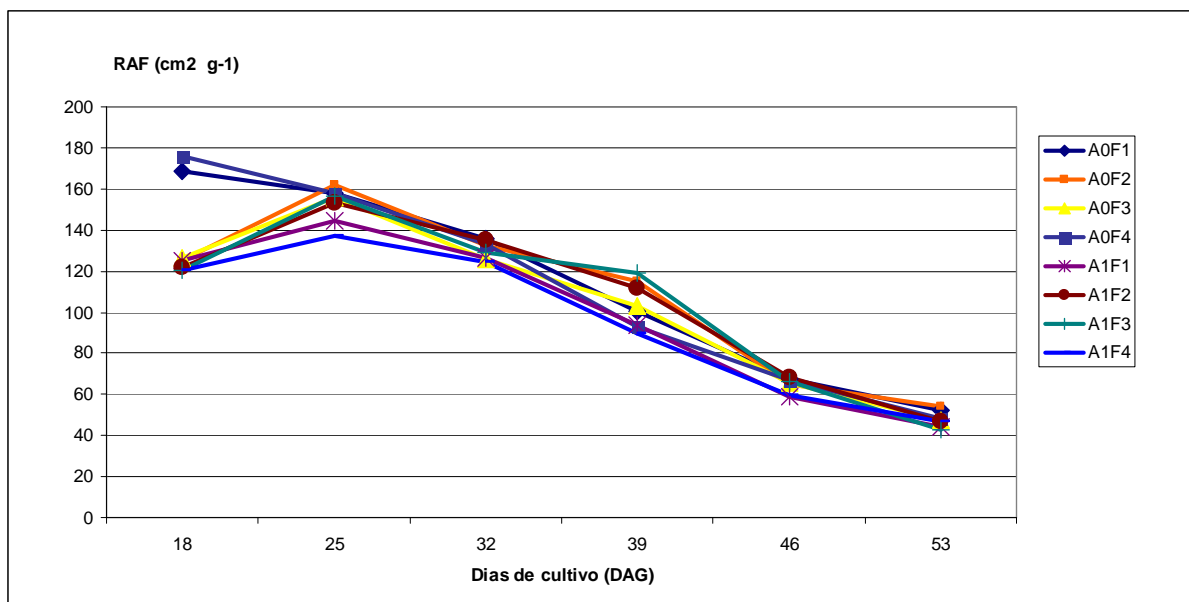
**Figura 35.** Índice de área foliar (IAF) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

De acordo com Santos e Fageria (2008), o IAF é considerado um dos principais responsáveis pelas diferenças na produção biológica das culturas. À medida que a área foliar cresce, o IAF também cresce até atingir um valor a partir do qual o autossombreamento passa a ser prejudicial, aumentando a superfície foliar que é mantida sob iluminação precária, o que diminui a sua eficiência fotossintética. O IAF ótimo é aquele que permite o máximo de fotossíntese e, conseqüentemente, a taxa de crescimento relativo (TCR) elevada.

Segundo Pinho et al. (2005), a velocidade de acumulação de matéria seca do feijão-caupi depende de seu IAF e as mudanças do IAF dependem do crescimento da área foliar e da senescência das folhas. O máximo de interceptação de luz, nas condições tropicais, é alcançado com um IAF de 3. Para produções elevadas da cultura, é necessário que as plantas mantenham tanto um IAF elevado como apresentem uma folhagem sadia, objetivando um IAF entre 1 e 2 por um longo período após o florescimento.

A razão de área foliar (RAF) expressa a quantidade de área foliar necessária para produzir 1 g de matéria seca. Não foi observado efeito dos tratamentos, em todas as datas de coleta, quanto a essa variável. Portanto, a área foliar para produzir 1 g de matéria seca foi semelhante em todas as datas analisadas de maneira individualizada. As médias de RAF

foram  $135,5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $153,1 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $130,2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $103,2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $64,7 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  e  $47,8 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  respectivamente na sequência das coletas (Figura 36). À medida que a planta se desenvolveu, melhorou a sua eficiência fotossintética, pois diminuiu a área para produzir 1 g de matéria seca.

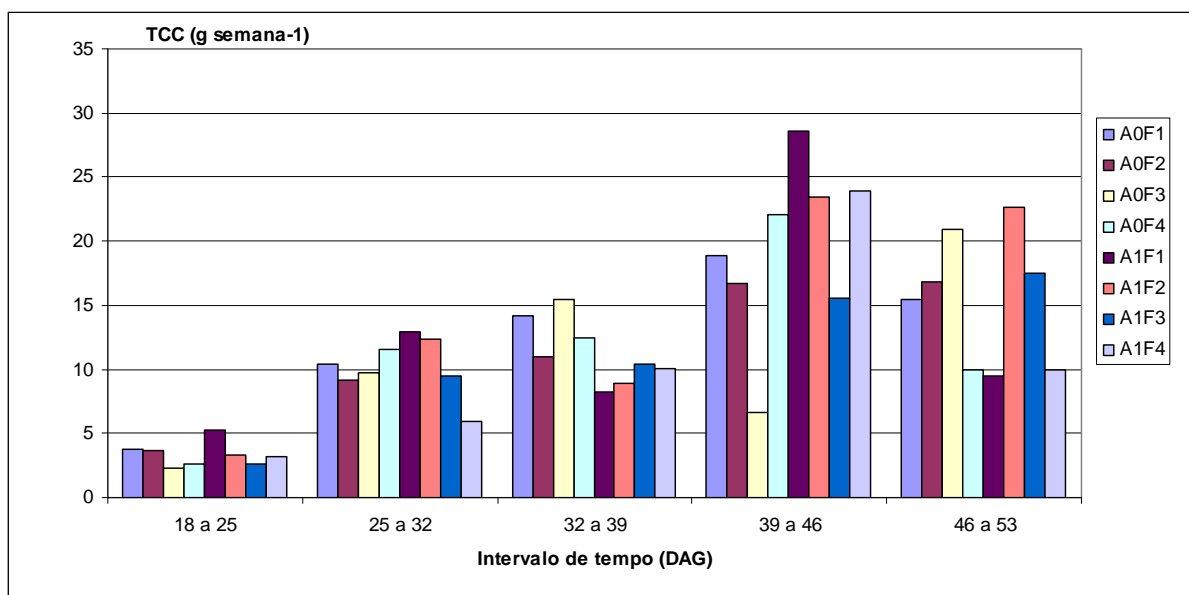


**Figura 36.** Razão de área foliar (RAF) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

Santos e Fageria (2008) encontraram uma evolução da RAF para o feijoeiro comum, cultivar Rudá, semelhante a do presente experimento. A RAF apresentou comportamento quadrático ao longo do ciclo da cultura, com valores máximos ao redor de 15 dias após a emergência (DAE). Os valores da RAF variaram de  $220 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  (20 DAE) a  $60 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  (70 DAE).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) mede a velocidade de crescimento em termo de matéria seca, em um determinado período de tempo. Quanto maior a TCC, maior a capacidade de acumulação de fotoassimilados. Os intervalos de tempo analisados foram: I – entre 18 e 25 DAG; II – entre 25 e 32 DAG; III – entre 32 e 39 DAG; IV – entre 39 e 46 DAG; V – entre 46 e 53 DAG.

Em todos os períodos analisados, não houve efeito significativo entre as TCC dos diversos tratamentos. A TCC aumentou ao longo do ciclo da cultura até 46 DAG, quando houve um decréscimo (Figura 37). Essa diminuição ocorre concomitantemente com a redução do número de folhas e da área foliar, que provoca uma diminuição da atividade fotossintética, indicando também uma maior translocação de fotoassimilados para o enchimento dos grãos.



**Figura 37.** Taxa de crescimento da cultura (TCC) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0% da adubação recomendada respectivamente.

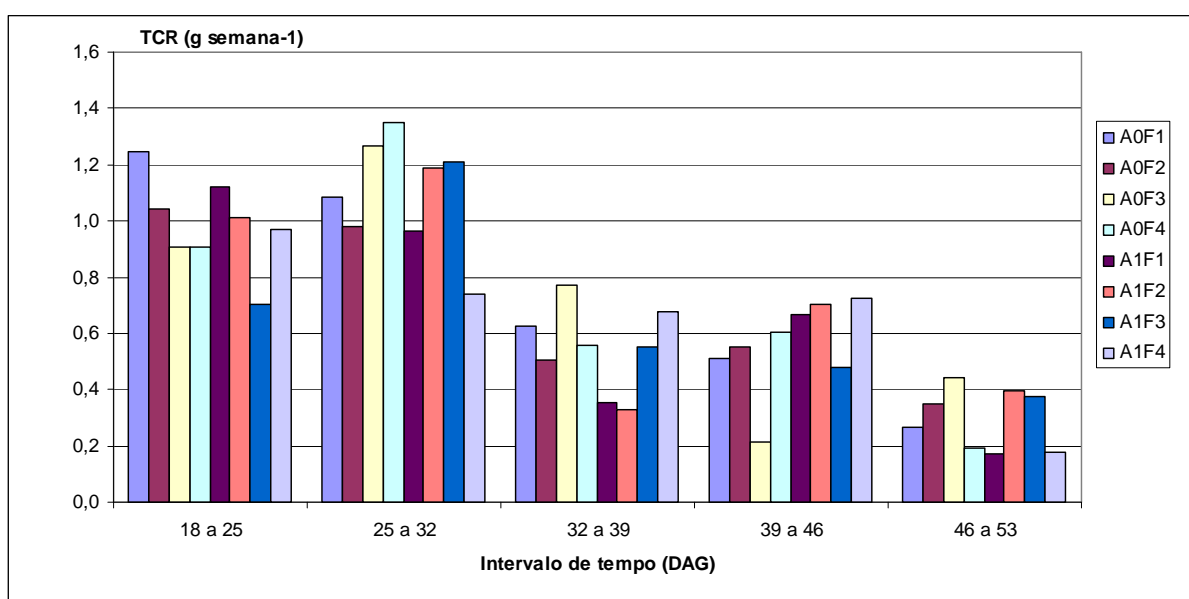
Os valores médios da TCC (g por semana) durante o ciclo da cultivar BRS Guariba foram 3,34, 10,19, 11,31, 19,46 e 15,35 respectivamente para os intervalos I, II, III, IV e V. O valor de TCC de 19,46 g por semana (46 DAG) está próximo dos valores máximos encontrados por Gomes et al. (2000) aos 49 dias após a semeadura (DAS), em experimento com quatro cultivares de feijão comum irrigado, cujos valores variaram entre 16,8 e 21,3 g por semana.

A taxa de crescimento relativo (TCR) mostra o acréscimo, em um determinado período de tempo, de matéria seca na planta em relação à matéria seca total acumulada pré-existente. Os intervalos analisados foram os mesmos da TCC.

Durante os vários intervalos, não foram verificados efeitos significativos entre os tratamentos. A TCR foi diminuindo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 38), pois a incorporação de novas quantidades de matéria seca é, porcentualmente, menor em face da quantidade já incorporada. Os valores médios da TCR (g por semana) foram: 0,99 (intervalo I), 1,10 (intervalo II), 0,55 (intervalo III), 0,56 (intervalo IV) e 0,30 (intervalo V).

A taxa de assimilação líquida (TAL) mede a eficiência das folhas para a realização de fotossíntese, por meio da acumulação de matéria seca por área em um intervalo de tempo. Segundo Pinho et al. (2005), a TAL influencia a velocidade de acumulação de matéria seca do feijão-caupi e reflete o balanço entre o ganho fotossintético do carbono e sua perda pela

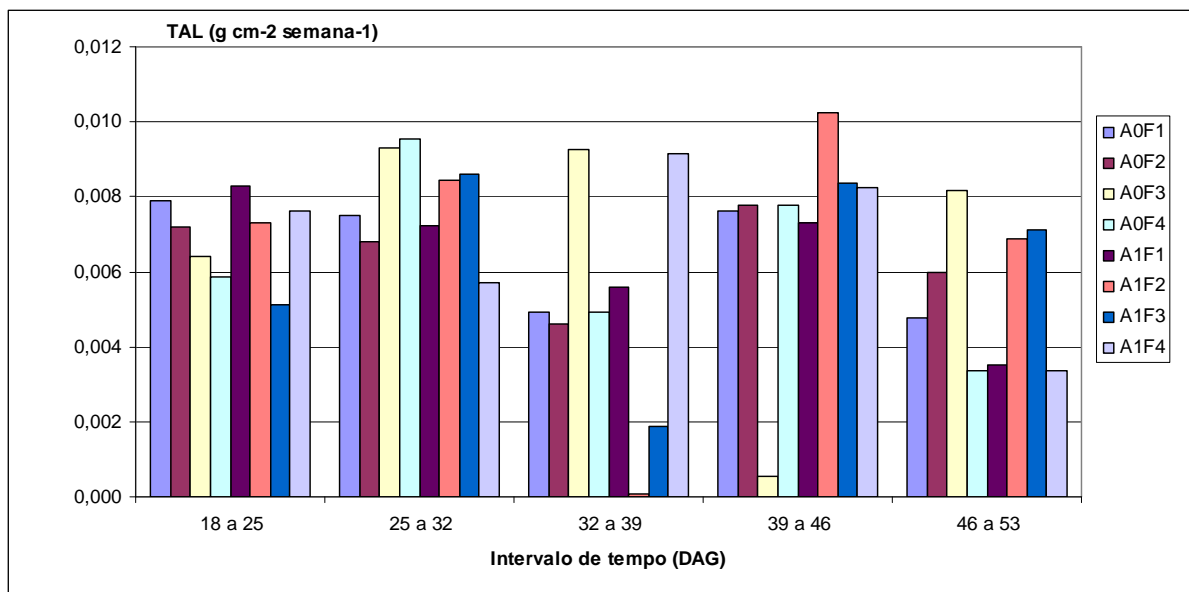
respiração. Durante o desenvolvimento das plantas de feijão-caupi, não foram observados efeitos significativos dos tratamentos quanto à TAL, com exceção no intervalo III. As médias para a TAL nos períodos I, II, III, IV e V foram, respectivamente, 0,0070, 0,0079, 0,0050, 0,0072 e 0,0052 expressos em  $\text{g cm}^{-2}$  por semana. Esses valores (Figura 39) mostram que a TAL varia de maneira aleatória e que, quanto menor o seu valor, menor a eficiência fotossintética.



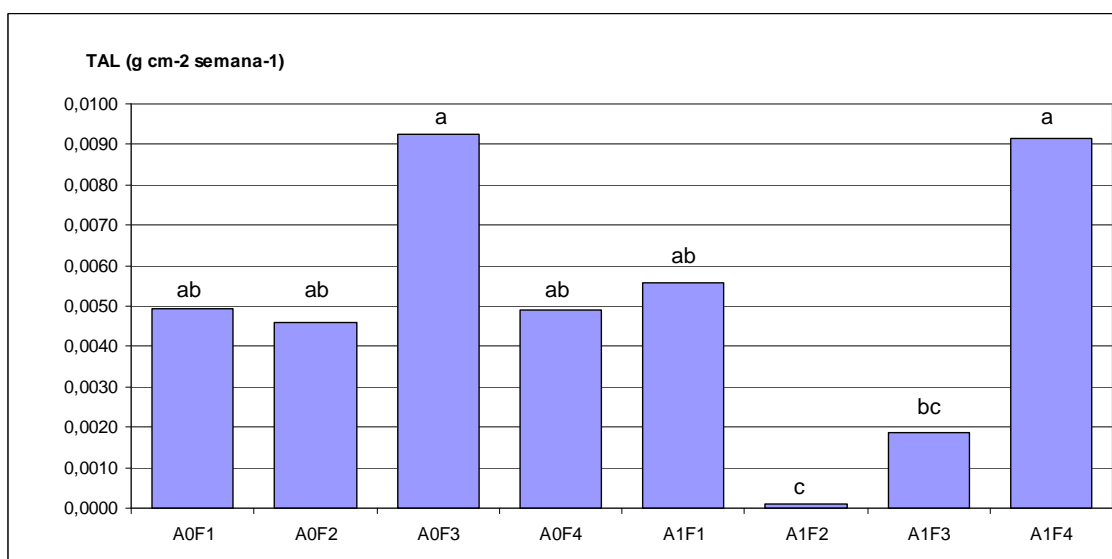
**Figura 38.** Taxa de crescimento relativo (TCR) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0% da adubação recomendada respectivamente.

No intervalo III, os valores dos tratamentos apresentaram diferenças estatísticas que podem ser visualizadas na Figura 40. A variação ocorre de maneira aleatória, não sendo possível detectar os efeitos das duas águas de irrigação (A0 e A1), tampouco das doses de fertilizantes (F1, F2, F3 e F4).

Essa oscilação da TAL, ao longo do ciclo da cultivar BRS Guariba, também foi observada por Andrade Júnior et al. (2005a) em trabalhos com as cultivares BR 14-Mulato e BR 17-Gurgueia, nos municípios de Parnaíba e Teresina, no Piauí, em condições de várias lâminas de irrigação. Gomes et al. (2000) também encontraram dificuldades nas estimativas da TAL, mas, em geral, ocorreram tendências para diminuição da TAL com a expansão foliar, principalmente em virtude do autossombreamento.



**Figura 39.** Taxa de assimilação líquida (TAL) em razão do tipo de água de irrigação (A) e da dose de fertilizante (F) durante o ciclo do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação; A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.



**Figura 40.** Valores da taxa de assimilação líquida (TAL) na cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, no intervalo III (entre 32 e 39 DAG). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

#### 5.4.2. Análise da produção da cultura

As variáveis comprimento de vagens verdes (CVV), peso de 100 grãos (PCG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), relação grão/vagem (G/V) e

produtividade não apresentaram diferenças significativas (5 % de probabilidade pelo teste F) para os tratamentos aplicados ao cultivo do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, explorado para a produção de grãos verdes (Tabela 24).

**Tabela 24.** Valores médios dos componentes de produção do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, produção de grãos verdes.<sup>1</sup>

Tratamento <sup>2</sup>	CVV (cm)	PCG (g)	NVP	NGV	G/V (g g <sup>-1</sup> )	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
A0F1	18,25 a	42,88 a	10,29 a	9,08 a	0,61 a	2.311,91 a
A0F2	17,58 a	41,98 a	9,78 a	8,38 a	0,57 a	2.124,14 a
A0F3	17,91 a	42,47 a	8,88 a	8,83 a	0,58 a	2.082,88 a
A0F4	19,24 a	42,57 a	8,60 a	9,10 a	0,59 a	1.916,60 a
A1F1	17,95 a	41,54 a	10,42 a	8,89 a	0,62 a	2.303,40 a
A1F2	17,21 a	40,81 a	11,84 a	11,06 a	0,60 a	2.364,99 a
A1F3	17,41 a	41,78 a	9,02 a	9,87 a	0,58 a	1.793,58 a
A1F4	17,97 a	42,21 a	7,96 a	8,10 a	0,58 a	1.742,70 a
CV (%)	3,00	3,28	23,81	17,13	5,67	27,98

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan.

<sup>2</sup> CVV - comprimento de vagens verdes; PCG - peso de 100 grãos; NVP - número de vagens por planta; NGV - número de grãos por vagem; G/V - relação grão/vagem. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente. CV – coeficiente de variação.

O comprimento de vagem apresentou valor médio de 17,94±0,62 cm e coeficiente de variação de 3,00 %. O valor está abaixo do encontrado por Rocha et al. (2006) para essa cultivar (19,95 cm). O PCG verdes foi em média 42,03±0,66 g, sendo bastante uniforme e com coeficiente de variação muito pequeno (3,28 %), estando próximo do valor médio encontrado por Rocha et al. (2006) para a cultivar em estudo (44,45 g).

O NVP variou entre 7,96 (A1F4) e 11,84 (A1F2), não sendo suficiente para diferenciar as produtividades obtidas no experimento. Lima (1996), Andrade Júnior et al. (2002) e Nascimento et al. (2004) expõem que esse componente de produção é o principal fator de acréscimo ou decréscimo na produtividade de grãos.

O NGV e a relação G/V apresentam também pequenos coeficientes de variação, respectivamente 17,13 % e 5,67 %, demonstrando uma uniformidade dos dados obtidos em diferentes tratamentos.

A diferença de produtividades entre o maior valor, 2.364,99 kg ha<sup>-1</sup> (A1F2), e o menor, 1.742,70 kg ha<sup>-1</sup> (A1F4), foi igual a 622,20 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponde a um acréscimo de 35,70 %. Essa diferença é 3,78 vezes superior à produtividade média da cultura, em regime de sequeiro, para o Estado do Piauí. As produtividades dos tratamentos A1F2, A0F1, A1F1, A0F2 e A0F3 foram superiores à média de 1.992,8 kg ha<sup>-1</sup>, obtida por Andrade Júnior et al. (2005a) em trabalho na região de Parnaíba-PI, com lâmina de irrigação de 207,4 mm e cultivar BR 10-Piauí. No presente experimento, as lâminas brutas de irrigação foram 198,86



mm (A0) e 230,49 mm (A1). Essa diferença de lâmina foi em decorrência de os dois sistemas de irrigação apresentarem variação no coeficiente de uniformidade de distribuição, que foi assim ajustado para a aplicação de uma lâmina líquida de irrigação de 171 mm.

Como no caso do cultivo para a produção de grãos verdes, os dados dos componentes de produção (CVS, PCG, NVP, NGV e G/V) e da produtividade do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, objetivando a produção de grãos secos, não diferiram significativamente a 5 % de probabilidade pelo teste F para os tratamentos aplicados (Tabela 25).

O valor médio do comprimento da vagem seca foi  $17,48 \pm 0,38$  cm e coeficiente de variação de 4,50 %. O PCG secos foi, em média,  $21,87 \pm 0,015$  g, sendo bastante uniforme, apresentando baixo coeficiente de variação (3,31 %). Os valores estão próximos aos encontrados por Freire Filho et al. (2004) para a cultivar BRS Guariba, que foram: CVS de 17,8 cm e PCG igual a 19,5 g. A média do PCG do presente experimento foi maior que a média encontrada no trabalho de Santos et al. (2008a), com 32 linhagens e quatro cultivares de feijão-caupi, em áreas irrigadas no Vale do Rio São Francisco, que foi de 19,8 g, com coeficiente de variação de 7,7 %.

**Tabela 25.** Valores médios dos componentes de produção do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, produção de grãos secos.<sup>1</sup>

Tratamento <sup>2</sup>	CVS (cm)	PCG (g)	NVP	NGV	G/V (g g <sup>-1</sup> )	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
A0F1	17,59 a	22,08 a	12,52 a	10,20 a	0,72 a	1.326,26 a
A0F2	17,19 a	21,78 a	11,68 a	9,68 a	0,72 a	1.293,67 a
A0F3	18,03 a	22,08 a	11,82 a	10,70 a	0,73 a	1.265,05 a
A0F4	17,59 a	21,85 a	9,95 a	10,63 a	0,73 a	1.086,38 a
A1F1	17,48 a	21,75 a	12,16 a	9,98 a	0,72 a	1.322,59 a
A1F2	16,89 a	21,98 a	13,40 a	9,73 a	0,72 a	1.326,63 a
A1F3	17,89 a	21,78 a	11,70 a	9,80 a	0,74 a	1.260,66 a
A1F4	17,19 a	21,70 a	10,78 a	9,73 a	0,72 a	1.149,17 a
CV (%)	4,50	3,31	15,50	9,38	3,60	20,61

<sup>1</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan.

<sup>2</sup> CVS - comprimento de vagens secas; PCG - peso de 100 grãos; NVP - número de vagens por planta; NGV - número de grãos por vagem; G/V - relação grão/vagem. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente. CV – coeficiente de variação.

Assim como na avaliação dos grãos verdes, o NGV e a relação G/V nos grãos secos também apresentaram coeficientes de variação baixos, respectivamente 9,38 % e 3,60 %, indicando uma uniformidade dos dados. Na avaliação com grãos secos, o NVP médio (11,75) foi maior que nos grãos verdes (9,60) e com um menor coeficiente de variação (15,50 %).

As médias de produtividade de grãos secos dos tratamentos A0F1, A0F2, A0F3, A1F1, A1F2 e A1F3 foram superiores à média obtida por Melo et al. (1998), de 1.253 kg ha<sup>-1</sup>, para a

cultivar BR 14-Mulato, com sistema convencional de preparo de solo, em cultivo irrigado e adubação com 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O nas formas de superfosfato simples e cloreto de potássio. As produtividades foram muito próximas das obtidas por Santos et al. (2008a), com população de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>, em 11 diferentes locais de áreas irrigadas do Vale do Rio São Francisco, e quatro cultivares avaliadas: EPACE 11 (1.153,5 kg ha<sup>-1</sup>), BR 17 Gurguéia (1.158,8 kg ha<sup>-1</sup>), Canapu (1.227,0 kg ha<sup>-1</sup>) e IPA 206 (1.487,2 kg ha<sup>-1</sup>).

#### **5.4.3. Análise química do tecido vegetal**

Os valores de nitrogênio nas plantas não variaram, estatisticamente, entre os tratamentos ao longo das várias fases de crescimento da cultura, mostrando que não houve efeito dos tratamentos com efluente da piscicultura e de doses de fertilizantes, já que os valores do tratamento testemunha (A0F4) foram semelhantes aos demais. Esse fato evidencia que as quantidades de nitrogênio adicionadas ao solo por meio da fertirrigação com ureia e com efluente da piscicultura foram muito pequenas para a sua efetiva utilização e, provavelmente, as necessidades das plantas foram supridas em parte pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN).

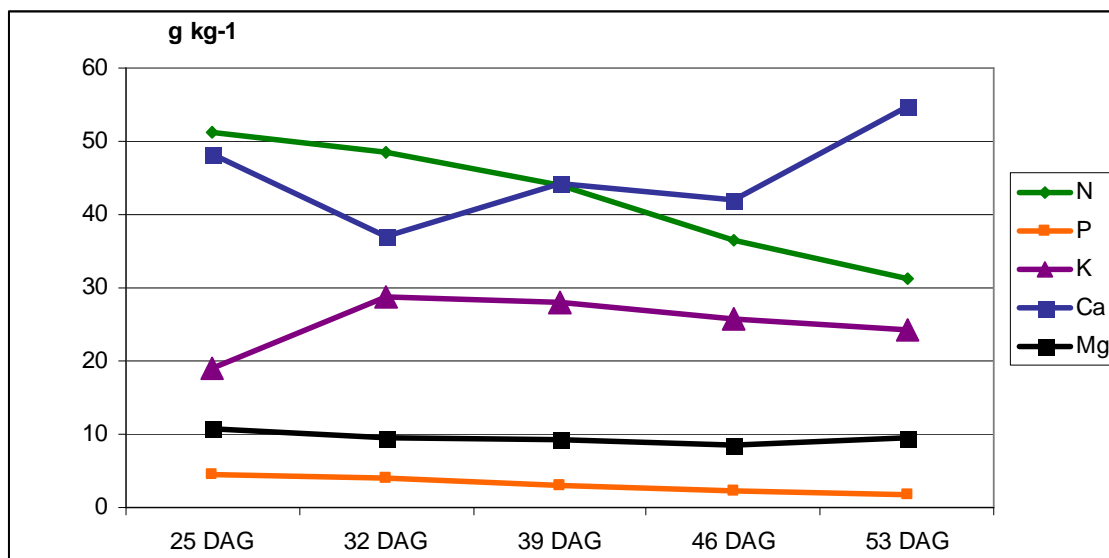
Para Rumjanek et al. (2005), a fixação biológica de nitrogênio é, reconhecidamente, eficiente em feijão-caupi e, se bem-nodulado, pode dispensar outras fontes de nitrogênio, ainda assim atingindo altos níveis de produtividade.

Verificou-se uma redução gradual da quantidade de nitrogênio na parte aérea da planta, pois a necessidade de nitrogênio é elevada até 25 DAG, principalmente para a formação total da folhagem, responsável pelo intenso processo fotossintético (Figura 41). O nitrogênio e o cálcio foram os macronutrientes mais exigidos pela planta, durante o período de coleta de material. A grande quantidade de nitrogênio absorvida pela planta resulta na formação de uma grande massa foliar.

O N é responsável pelo incremento da área foliar da planta, aumentando a eficiência de interceptação da radiação solar, a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos e seus componentes (SANTOS e FAGERIA, 2008).

O nitrogênio participa da formação de diversos compostos considerados de suma importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas, destacando-se as proteínas e as clorofilas. Assim, plantas cultivadas sob deficiência de N podem não expressar seu potencial produtivo, visto que em tais condições podem ocorrer reduções significativas da

taxa de formação e expansão foliar e da taxa assimilatória líquida por unidade de área (CRUZ et al., 2006).



**Figura 41.** Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na matéria seca durante o ciclo da cultura do feijão-caupi, BRS Guariba. DAG – dias após a germinação.

O teor médio de N na época da colheita ( $31,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi maior do que o encontrado por Parry et al. (2008) no mesmo período ( $20,1 \text{ g kg}^{-1}$ ), adubando com  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, sendo justificado pela maior quantidade de N aplicada no presente experimento ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Assim como o nitrogênio, os valores de fósforo encontrados na parte aérea das plantas não apresentaram efeito significativo dos tratamentos ao longo das cinco datas de coleta de material. O efeito dos tratamentos não foi preponderante para alterar a quantidade de fósforo absorvida pela cultura, sendo esse o macronutriente menos absorvido pelo feijão-caupi.

A marcha de absorção de fósforo foi decrescente durante o período de avaliação do ciclo de cultivo do feijão-caupi (Figura 41). O decréscimo foi em razão de o processo de translocação de nutrientes para a formação das estruturas das plantas ser mais intenso até 28 DAG; depois desse período, a necessidade de nutrientes é, principalmente, para a formação de vagens e enchimento de grãos.

O fósforo, que é absorvido do solo na forma de ácido ortofosfórico, não sofre redução durante o metabolismo nos seres vivos. Nas plantas, é encontrado em diversas substâncias, como na fitina, nos fosfolipídeos, nos ácidos nucleicos, em açúcares, nas coenzimas, ou ainda, compartimentado nos vacúolos celulares na forma mineral, mas as concentrações totais

podem variar de 0,05 % a 0,5 % da massa seca (SANTOS et al., 2008b). Para Souza et al. (2006), o fósforo frequentemente limita o desenvolvimento do feijoeiro em razão da sua alta capacidade de adsorção aos componentes mineralógicos do solo e sua baixa disponibilidade à absorção vegetal.

Parry et al. (2008) obtiveram teores de P na época da colheita de  $1,2 \text{ g kg}^{-1}$  (adubação 10-50-50) e  $1,7 \text{ g kg}^{-1}$  (10-100-50), mas o valor médio obtido no presente experimento ( $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ ), na mesma época, foi superior, com uma adubação fosfatada menor ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Para uma adubação com  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Miranda et al. (2000) encontraram um teor médio de P nas folhas de  $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ , em trabalho com feijão comum, cultivar Carioca, com irrigação sem restrição de água.

As quantidades de potássio, cálcio e magnésio aplicadas foram iguais em todos os tratamentos. A análise estatística confirmou efeito não significativo entre os valores desses nutrientes obtidos na parte aérea da planta durante todo o ciclo de cultivo do feijão-caupi.

A curva de absorção de potássio é crescente até 32 DAG e, após esse período, os valores continuam altos, porém com um leve declínio até o final do ciclo (Figura 41) pelo fato de o potássio ser um dos principais nutrientes que compõem a formação das flores e vagens. O potássio foi o terceiro nutriente mais absorvido pelo feijão, depois do cálcio e do nitrogênio.

O cálcio foi absorvido em grande quantidade durante todo o desenvolvimento da planta, mesmo sendo considerado um dos elementos menos móvel na planta; no final do ciclo de desenvolvimento, é carregado principalmente para a formação de vagens e grãos. O magnésio, ao contrário do cálcio, inicia seu período de declínio a partir dos 25 DAG, pois a sua principal forma de utilização é nas estruturas que compõem o sistema de captação de energia solar para o processo fotossintético, que foi mais intenso no início do ciclo de cultivo do feijão-caupi.

As quantidades de nutrientes acumuladas pelas plantas no final do ciclo da cultivar BRS Guariba estão na seguinte ordem:  $\text{Ca} (54,8 \text{ g kg}^{-1}) > \text{N} (31,2 \text{ g kg}^{-1}) > \text{K} (24,1 \text{ g kg}^{-1}) > \text{Mg} (9,4 \text{ g kg}^{-1}) > \text{P} (1,6 \text{ g kg}^{-1})$ .

A concentração de K ( $24,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) na matéria seca, no período de colheita, foi inferior ao valor encontrado por Parry et al. (2008) de  $29,3 \text{ g kg}^{-1}$ ; entretanto, a quantidade de K na adubação disponibilizada para as plantas no presente experimento foi menor em  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ . As concentrações obtidas de Ca ( $54,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Mg ( $9,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) foram superiores às encontradas pelos mesmos autores (Ca –  $18,3 \text{ g kg}^{-1}$  e Mg –  $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) em virtude da operação de calagem realizada 45 dias antes do plantio do presente experimento.

#### **5.4.4. Análise química do solo no final do experimento**

Os resultados das análises de fertilidade do solo nos vários tratamentos, no final do ciclo de cultivo do feijão-caupi, são mostrados na Tabela 26. As duas únicas variáveis que apresentaram diferenças relacionadas com os tratamentos foram o fósforo disponível (P) e o potássio disponível (K). Nas demais variáveis, não foram observadas variações que pudessem ser atribuídas ao efeito dos tratamentos.

A variação entre os tratamentos, quanto ao teor de fósforo no solo no final do ciclo de cultivo, mostra que os tratamentos que receberam maior quantidade de P na adubação de fundação, foram os que apresentaram maior quantidade do elemento na análise de solo final. A relação acontece da mesma forma para as duas águas de irrigação (Figura 42). Esse fato foi em razão do efeito residual do P no solo, principalmente em cultura de ciclo curto como o feijão-caupi. A pequena quantidade de fósforo adicionada ao solo pelo efluente da piscicultura não foi capaz de elevar o efeito residual do elemento provavelmente pela sua forma solúvel, fazendo que a sua utilização fosse mais rápida pelas plantas.

Os valores de P no solo no final do ciclo de cultivo foram maiores que o encontrado antes do plantio ( $6,60 \text{ mg dm}^{-3}$ ) nos tratamentos que receberam maiores doses do nutriente: A0F1 ( $15,08 \text{ mg dm}^{-3}$ ), A0F2 ( $8,15 \text{ mg dm}^{-3}$ ), A0F3 ( $7,03 \text{ mg dm}^{-3}$ ), A1F1 ( $13,05 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e A1F2 ( $8,40 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

A variação que ocorreu nos níveis de potássio (K) ao final do ciclo de cultivo do feijão não apresenta relação direta com os tratamentos aplicados, pois a quantidade de potássio fornecida à cultura foi igual para todos os tratamentos. Todos os valores de K ao final do ciclo ficaram abaixo do valor da análise de solo no início do experimento ( $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), exceto no tratamento A1F4 ( $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (Figura 43). Esse fato mostra que a quantidade de K fornecida pela fertirrigação não foi suficiente para suprir a cultura, sendo necessário fazer uso da quantidade disponível no solo.

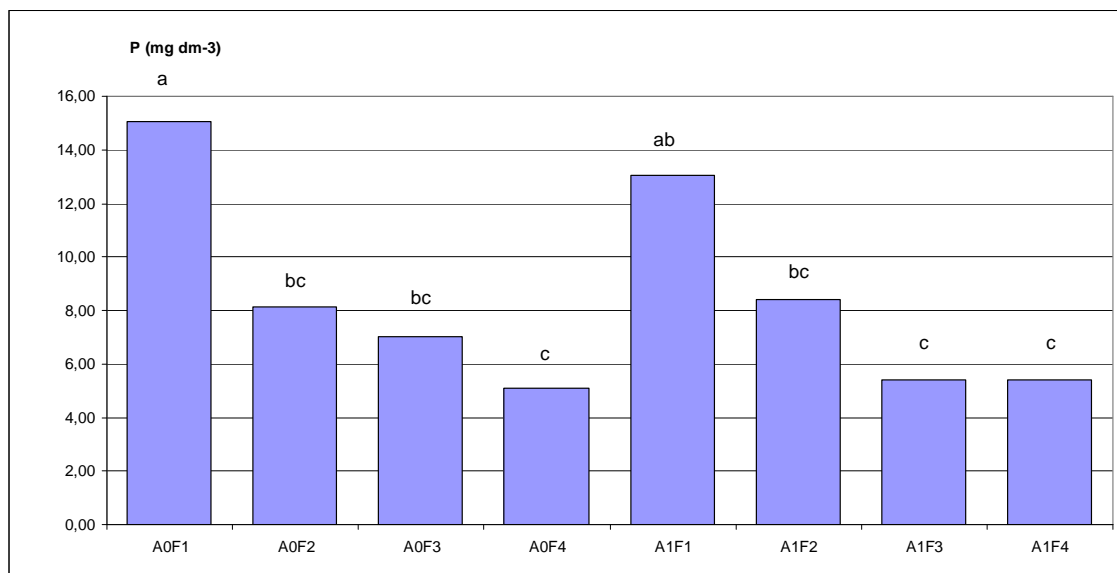
Miranda et al. (2007) observaram que, após o cultivo do arroz, o solo irrigado com o efluente da carcinicultura não apresentou diferenças significativas em relação ao solo irrigado com a água de rio quanto ao pH e aos teores de P, K,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . No entanto, o solo irrigado com o efluente apresentou níveis de sódio ( $\text{Na}^+$ ), condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) e porcentagem de sódio trocável (PST) na profundidade de 0 m a 0,2 m significativamente mais altos em comparação com o solo irrigado com a água de rio, e que após o cultivo do melão o solo irrigado com o efluente apresentou um menor nível de  $\text{Mg}^{2+}$  e maiores níveis de  $\text{Na}^+$ , CEes e PST em relação ao solo irrigado com a água de rio na profun-

**Tabela 26.** Características químicas do solo da área experimental (profundidade 0-20 cm) no início e no final do ciclo de cultivo do feijão-caupi, BRS Guariba.

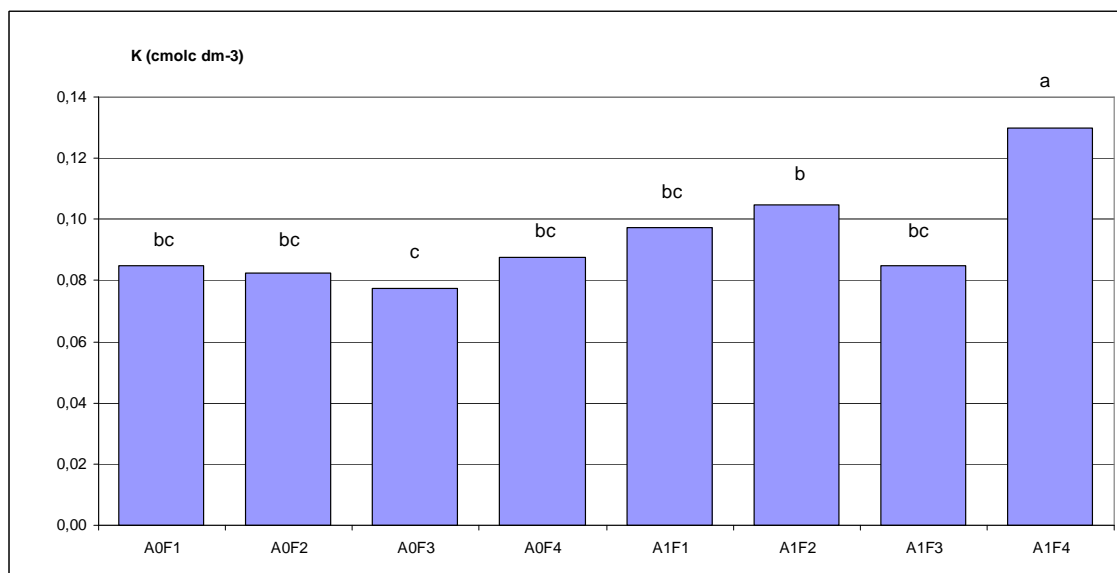
Característica	Unidade	Início	Tratamento							
			A0F1	A0F2	A0F3	A0F4	A1F1	A1F2	A1F3	A1F4
Matéria orgânica	g kg <sup>-1</sup>	5,37	4,41	5,08	4,74	4,02	3,54	4,16	5,30	3,45
pH	-	6,42	6,40	6,41	6,49	6,77	6,58	6,57	6,46	6,76
Fósforo (P)	mg dm <sup>-3</sup>	6,60	15,08	8,15	7,03	5,10	13,05	8,40	5,40	5,43
Potássio (K)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,12	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,09	0,13
Cálcio (Ca)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,08	1,62	1,41	1,46	1,50	1,52	1,66	1,28	1,59
Magnésio (Mg)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,42	0,62	0,74	0,73	0,72	0,69	1,18	0,73	0,71
Sódio (Na)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,01	0,10	0,10	0,09	0,09	0,11	0,11	0,10	0,10
Hidrogênio + Alumínio (H+Al)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,94	1,13	1,21	1,40	1,26	1,40	1,48	1,19	1,06
S	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,63	2,42	2,32	2,36	2,40	2,42	3,04	2,19	2,53
CTC	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,57	3,55	3,53	3,76	3,65	3,82	4,52	3,38	3,60
V	%	63,41	67,90	65,52	64,31	66,92	63,35	67,95	64,63	70,97
CE	dS m <sup>-1</sup>	-	0,11	0,10	0,09	0,10	0,13	0,13	0,10	0,33

A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

didade de 0 m a 0,2 m. Não houve diferenças significativas entre o solo irrigado com o efluente e o solo irrigado com a água de rio para as demais variáveis.



**Figura 42.** Valores de fósforo (P) no solo no final do ciclo da cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.



**Figura 43.** Valores de potássio (K) no solo no final do ciclo da cultura do feijão-caupi cultivar BRS Guariba. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Duncan. A0 (água do sistema de irrigação); A1 (efluente da piscicultura); F1, F2, F3 e F4 = 100 %, 66 %, 33 % e 0 % da adubação recomendada respectivamente.

## 5.5. Avaliação geral

Uma avaliação conjunta das variáveis de crescimento, dos componentes de produção, da produtividade, da composição química do tecido vegetal e das características do solo ao final do experimento com o feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, mostra que os valores observados para essas variáveis ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura não apresentaram diferenças estatísticas. Portanto, o efeito do uso de efluentes da tilapicultura e das diferentes doses de fertilizantes químicos não foi observado.

O aporte de nitrogênio e fósforo por meio dos efluentes da piscicultura foi pequeno durante o ciclo cultural: 2.349,08 g ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de nitrito, nitrato e amônia e 170,95 g ha<sup>-1</sup> de fósforo na forma de ortofosfato. Esses valores representam um acréscimo de 11,70 % e 0,42 % na quantidade dos nutrientes adicionados ao solo.

A adubação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N e 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, formulada de acordo com a análise de solo e a recomendação de Melo et al. (2005), não foi capaz de suprir plenamente as necessidades nutricionais da cultivar BRS Guariba, principalmente no caso do fósforo, pois existem diferenças entre genótipos de caupi quanto à absorção desse nutriente.

Araújo et al. (2006), trabalhando com duas doses de nitrogênio (40 e 80 kg ha<sup>-1</sup>), três doses de calcário (9, 18 e 27 t ha<sup>-1</sup>) e um tratamento adicional sem nitrogênio e calcário (testemunha), com a cultivar BRS Guariba, encontraram que o efeito da adubação nitrogenada em cobertura e da calagem não apresentou variação significativa para as características agrônomicas e para a produtividade do feijão-caupi.

Os parâmetros de crescimento mostraram um bom desempenho da cultura para acumulação de fotoassimilados tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo. Esse fato foi confirmado pelo não aparecimento de sintomas de deficiência de nutrientes, como os descritos por Hall e Schwartz (1994), ao longo do ciclo de cultivo, assim como pelos dados dos componentes de produção e pelas produtividades obtidas, mesmo para o tratamento testemunha (A0F4).

As concentrações dos nutrientes na planta não foram afetadas pelas diferentes doses de fertilizantes e pelo efluente da piscicultura, e essas concentrações foram consideradas adequadas em todos os tratamentos, inclusive na testemunha (A0F4). Esses valores estão de acordo com os teores foliares estabelecidos por Oliveira e Dantas (1984) como adequados ao feijão-caupi (g kg<sup>-1</sup>): N – 19,7±1,6, P – 1,4±0,3, K – 32,0±3,6, Ca – 53,8±4,1 e Mg – 6,6±1,4. Também estão conforme as concentrações de nutrientes na planta (g kg<sup>-1</sup>) de feijoeiro comum



no início do florescimento (32 DAG), estabelecidas por Fageria et al. (1996): N – 30 a 35, P – 2,5 a 5,0, K – 27 a 35, Ca – 25 a 35 e Mg – 2,5 a 6,0.

Carsky et al. (2002) informam, com base na literatura, que o nível crítico de P disponível em material vegetal do feijão-caupi (acima do qual a adubação fosfatada não é economicamente recomendada) foi estimado em  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , entretanto, esse valor necessitaria de maiores confirmações.

Esse fato indica que o suprimento de nutrientes pode ter sido complementado por outras fontes diferentes da adubação química e do efluente. A fixação biológica (FBN) provavelmente pode ter sido a fonte no caso do nitrogênio, enquanto o efeito residual no solo de adubação anterior pode ter sido o fornecedor de fósforo.

Para Xavier et al. (2008), em trabalho com feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, a produtividade de grãos aumenta com o uso da inoculação e o efeito dessa prática é favorecido quando o feijão-caupi é adubado com, no máximo,  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Bationo et al. (2002) observaram que o nitrogênio fixado da atmosfera pelo feijão-caupi variou de 65 % a 89 % do total de nitrogênio utilizado, dependendo do nível de fertilidade do solo. A quantidade de nitrogênio fixada pelo feijão-caupi variou de  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  na parcela controle para  $87 \text{ kg ha}^{-1}$  no tratamento em que o solo foi alterado com adubação mineral e orgânica.

Carvalho (2002) informa que diferenças genéticas em produção de biomassa de raiz e a capacidade de acumular N disponível no solo tornam pouco provável um significativo aumento da produção pela adição de N mineral para o feijão comum.

Segundo Pelegrin et al. (2009), a variabilidade nas respostas de produtividade às doses de N, em diferentes locais, tem sido verificada, especialmente, em razão dos níveis de fertilidade do solo e outras técnicas empregadas nos sistemas produtivos, destacando-se o uso de sistemas de irrigação.

De acordo com Santos et al. (2008b), pesquisas baseadas na mineralização observada para fosfatos orgânicos adicionados ao solo também têm sugerido que a quantidade de P mineralizada, durante o ciclo das plantas, pode ser suficiente para atender a uma parte da necessidade desse elemento, especialmente em ecossistemas em que a vegetação é adaptada à baixa disponibilidade no solo.

Cardoso et al. (2006), em experimento de adubação fosfatada com a cultivar BRS Guariba, observaram um rendimento de grãos máximo de  $1.559 \text{ kg ha}^{-1}$  para dose de  $58,2 \text{ kg}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , com um teor inicial de fósforo no solo de  $15,2 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Em trabalho realizado por Sanginga et al. (2000) com 94 linhagens de feijão-caupi do IITA (International Institute of Tropical Agriculture), em laboratório e experimentos de

campo, observou-se que as mesmas apresentavam diferentes desempenhos no crescimento, nodulação e infestação de fungos micorrízicos nas raízes, de acordo com a sua adaptabilidade aos baixos teores de fósforo nos solos, e algumas linhagens respondem à aplicação de P e outras não. Experimentos de Bationo et al. (2002) e Kolawole et al. (2002) confirmam que existem diferenças marcantes entre os genótipos de feijão-caupi quanto à absorção de fósforo.

Em trabalho com efluente do cultivo de tilápia, densidade de dois peixes  $\text{m}^{-3}$ , com dois níveis de fósforo e dois níveis de matéria orgânica, na cultura do pimentão, Oliveira et al. (2008) encontraram que o efluente de piscicultura, a princípio, não foi capaz de solubilizar e/ou aumentar os teores de fósforo e nitrogênio do solo ao final do ciclo de cultivo.

Castro (2003), em trabalho com a cultura do tomate cereja, irrigado com efluente da tilapicultura (2,5 peixes  $\text{m}^{-3}$ ) e quatro fontes de adubos, observou que, durante todo o ciclo médio da cultura (122 dias), o efluente provocou um aumento do número e do peso dos frutos e da produtividade sempre que as necessidades das plantas não foram supridas pela adubação. Entretanto, quando a adubação utilizada atendeu às exigências nutricionais da planta, a presença do efluente não provocou aumento do número e do peso de frutos, nem da produtividade.

Estudos realizados por Miranda et al. (2007) mostraram que a produção de grãos de arroz irrigado com o efluente da carcinicultura de águas interiores foi semelhante à obtida pela irrigação com água de rio, quando foi utilizada na adubação a dose de N-P-K equivalente a 100 % da recomendada para a cultura. No entanto, quando se aplicou uma dose de N-P-K equivalente a 75 % da recomendada para a cultura do arroz, a produção de grãos obtida com o efluente foi superior à obtida com a água de rio. De outro lado, os resultados com a cultura do melão não mostraram nenhum aumento de produção com a utilização do efluente na irrigação. Contudo, a lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo do melão (252 mm) foi bastante inferior àquela aplicada ao arroz (2.860 mm). Consequentemente, as quantidades de nutrientes aportadas pela água de irrigação foram também bastante inferiores.

De acordo com Azevedo (1998), plantas de alface que receberam efluentes da piscicultura como única fonte de nitrogênio, praticamente absorveram todo o nitrogênio inorgânico disponível, contudo, os níveis desse nutriente no efluente eram geralmente muito baixos para satisfazer as necessidades das plantas testadas. A combinação de efluente de peixes e fertilizantes químicos possibilitou o uso mais eficiente do nitrogênio. O uso de efluentes da piscicultura concentrados pode também aumentar o teor de nutrientes, e a decomposição da matéria orgânica, ao longo do tempo, pode melhorar em longo prazo a fertilidade do solo.

Lage et al. (2008), com exploração conjunta de tilápia do Nilo e alface, em sistema hidropônico, com filtro biológico, obtiveram resultados em que o sistema integrado é mais eficiente quanto à manutenção da boa qualidade da água, além de um melhor desenvolvimento dos peixes. Cortez et al. (2009) concluíram que a água residual do sistema de criação de matrinxã não foi capaz de atender à demanda de três cultivares de alface por nutrientes, principalmente potássio e magnésio, para o cultivo hidropônico.

Em experimento realizado por Wood et al. (2000) no Quênia, para determinar a aptidão do policultivo de tilápia (*Tilapia aureus*) e bagre africano (*Clarias gariepinus*), com utilização dos efluentes dos viveiros para irrigação por gotejamento de feijão (*Phaseolus vulgaris* cv. Samantha), observou-se um declínio gradual no rendimento da cultura à medida que a água do canal de irrigação foi sendo substituída pelo efluente da piscicultura.

Wood et al. (2001) trabalhando com feijão (*Phaseolus vulgaris*) e couve (*Brassica oleracea*), irrigados com efluente de viveiro de tilápia e bagre africano, concluíram que o efluente não deve ser utilizado como principal fonte de nitrogênio e fósforo para as culturas por causa das baixas concentrações desses elementos no efluente, sendo necessário o ajuste nutricional das culturas com fertilizantes químicos.

## 6. CONCLUSÕES

O trabalho permite enumerar as seguintes conclusões:

1. A melhor produção de peixes é obtida no tratamento da densidade de 56 peixes m<sup>-3</sup>, com renovação diária de água de 400 %, que produziu também os maiores teores de nutrientes no efluente.
2. As variáveis limnológicas são limitantes (aos 64 dias de cultivo) para o sistema de produção com densidade de 56 peixes<sup>-3</sup> e taxa de renovação de água diária de 200 %.
3. O fornecimento de nutrientes pelo efluente produzido pela tilápia do Nilo para a cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, é insuficiente para alterar a sua produção e não modifica as características químicas do solo cultivado, de modo a comprometer a sua futura utilização.
4. Os índices de crescimento e os componentes de produção da cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, não sofrem alteração em razão das doses da adubação química e da utilização do efluente da tilapicultura.
5. O sistema de produção integrado agricultura-aquicultura com o cultivo de feijão-caupi e tilápia do Nilo otimiza a utilização dos recursos hídricos e a exploração agrícola, com a obtenção de duas produções a partir do uso compartilhado da água.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABREU, F. B.; TORRES, F. E.; SAGRILO, E.; QUEIROZ, L. S.; MORAES, S. C. F. C.; DAMASCENO, J. E.; BERTONCELLO, V.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto em Mato Grosso do Sul. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi.1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- AHMAD, R. S. H. Práctica de integración forraje-peces en Malásia. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.33-37. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- AHMED, M; BIMBAO, M.A. P. Consideraciones económicas en la introducción de una técnica de agro-acuicultura integrada. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.9-12. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1967. 472p.
- ALEXANDRINO, A. C. **Manual de prevenção de doenças em piscicultura**. São Paulo: Instituto da Pesca, 1998. 45 p. (Boletim Técnico do Instituto da Pesca. N.23)
- AL-HAFEDH, Y. S.; ALAM, A.; ALAM, M. A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquacultural Engineering**. v. 29, p.139–154, 2003.
- ALI, A. Sistema de piscicultura em arrozais con bajos niveles de insumos en Malásia. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.65-70. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- ALMEIDA, C. de; CARVALHO, M. A. C. de; ARF, O.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S. Uréia em cobertura e via foliar em feijoeiro. **Scientia Agrícola**. v.57, n.2, p.293-298, 2000.

- ANA. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas/Ministério do Meio Ambiente, 2005. 123p.
- ANA. **A ANA na gestão das águas/ Usos múltiplos**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/UsosMultiplos/default.asp>, acesso em 04 de abril de 2009.
- ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco / Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco -PBHSF (2004-2013)**. Brasília, DF: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004. 15p. (Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF – Nº 15 - Desenvolvimento da Pesca e Aquicultura)
- ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O. da; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**. v.36, n.2, p.143-151, mai/ago., 2005b.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A. Simulação das necessidades de irrigação em feijão caupi. In: Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 5. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.251-254. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 56).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. Irrigação In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005a. p. 243-277.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.6, n.1, p.17-20, 2002.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; TAMANINI, C. R. Parâmetros para normatização do reúso agrícola. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de qualidade inferior – Realidades e Perspectivas**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.127-166.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed., Washington: APHA, 1995. 1268p.
- ARANA, L. V. **Princípios químicos de qualidade da água na aquicultura: uma revisão para peixes e camarões**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2 ed. rev. e amp., 2004a. 231p.
- ARANA, L. V. **Fundamentos da aquicultura**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004b. 349p.
- ARAÚJO, V. S.; QUEIROZ, J. V. J.; FURTADO, L. M.; ARAÚJO, A. M. S. Efeitos de diferentes doses de nitrogênio e calcário na produção do feijão-caupi. In: Congresso

- Nacional de Feijão-Caupi.1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- AYROZA, L. M. S.; FURLANETO, F. de P. B.; AYROZA, D. M. M. de Análise econômica da produção de tilápia (*Oreochromis* spp.) em tanques-rede, ciclo de verão. In: **AquaCiência** 2008. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.
- AYROZA, L. M. S.; SPINOSA, V. A.; SOARES JÚNIOR, M. S.; RESENDE, D. M. M.; SIMÕES, F. S.; CALIARI, M.; SANTOS JÚNIOR, V. Caracterização de alguns parâmetros limnológicos de viveiros de criação de tilápia no vale do Paranapanema. . In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) Tilapia aquaculture. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. **Proceedings...** Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 2, 2000. p.270-278.
- AZEVEDO, C. M. da S. B. **Nitrogen transfer using  $^{15}\text{N}$  as a tracer in an integrated aquaculture and agriculture system.** Tucson: University of Arizona, 1998. 105p. (Ph.D. Thesis).
- BARBOSA, A. C. A.; ALMEIDA, L. D. L. de; MEDEIROS, P. A. A. de; FONSECA, R. B. de Cultivo de tilápia nilótica em gaiolas flutuantes na Barragem do Assu-RN. In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) Tilapia aquaculture. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. **Proceedings....** Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 2, 2000. p.400-406.
- BARBOSA, J. M.; BRUGIOLO, S. S. S.; CAROLSFELD, J. Heterogeneous growth fingerlings of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: effects of density and initial size variability. **Brazilian Journal Of Biology**. v. 66, n. 2, p.537-541, 2006.
- BARROS, G. A. de A.; SANTOS, C. A. F.; SANTOS, I. C. N. dos Parâmetros de qualidade tecnológica de grãos em seis genótipos de feijão-caupi cultivados em regime irrigado. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi.1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; RODRIGUES, B. H. N. **Boletim agrometeorológico de 2005 para o município de Parnaíba, PI.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006a. 38p. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 131).
- BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; RODRIGUES, B. H. N.; NOGUEIRA, C. C. P. Coeficiente de cultivo do feijão-caupi em Parnaíba-Piauí. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi.1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...**

- Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006b (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- BASTOS, R. K. X.; ANDRADE NETO, C. O. de; CORAUCCI FILHO, B.; MARQUES, M. O. Introdução. In: BASTOS, R.K.X. (coordenador) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003a. p.1-22. (Projeto PROSAB).
- BASTOS, R. K. X.; MARQUES, M. O. Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura – Uma análise crítica. In: BASTOS, R.K.X. (coordenador) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p.247-253. (Projeto PROSAB).
- BASTOS, R. K. X.; PEREIRA, C. M.; PIVELLI, R. P.; LAPOLLI, F. R.; LANNA, E. A.T. Utilização de esgotos sanitários na piscicultura. In: BASTOS, R.K.X. (coordenador) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003b. p.193-223. (Projeto PROSAB).
- BATIONO, A.; NTARE, B.R.; TARAWALI, S.A.; TABO, R. Soil fertility management and cowpea production in the semiarid tropics. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: IITA-International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.301-318.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.
- BENNETT, W. F. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. In: BENNETT, W. F. **Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants**. St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society, 1994. p.1-7.
- BERNARDI, C. C. **Reuso de água para irrigação**. Brasília: ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, 2003. 52p. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, com área de concentração em Planejamento Estratégico).
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 5 ed., 1989. 596p.
- BEZERRA, M. do C. de L.; MUNHOZ, T.M.T. **Gestão dos recursos naturais**: Subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio TC/BR/FUNATURA, 2000. 200p.



- BOLL, M.G.; LARGURA, J.; PEREIRA, C.M. Estudo dos impactos ambientais de três sistemas de produção de tilápias conduzidos a nível experimental. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 11., 2000, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Simbraq, 2000b. CD ROM.
- BOLL, M.G.; MATOS, A.C.; TESTOLIN, G.; FILIPINI, T.A.; PEREIRA, C.M. Estudo do impacto ambiental de dois níveis de aporte de dejetos de suínos em policultivos de peixes conduzidos experimentalmente na região oeste de Santa Catarina – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 11., 2000, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Simbraq, 2000a. CD ROM.
- BORBA, M. G.; TOMPSON, M. M.; SILVA, A. L. N. Influência do emprego de tanques-rede sobre a qualidade da água em um viveiro de piscicultura. In: Aquicultura Brasil' 98. Recife. **Anais...** Recife: v. 2., p. 449 – 461, 1998.
- BORGHETTI, J.R.; OSTRENSKY, A. Estratégias e ações governamentais para incentivar o crescimento da atividade aquícola no Brasil. In: Aquicultura Brasil 98, Congresso Sul-Americano de Aquicultura. **Anais...** Recife: volume 1, 1998. p.437-447.
- BOYD, C. E. **Manejo da qualidade da água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho.** Recife-PE: ABCC, 2001. 157p.
- BOYD, C. E.; QUEIROZ, J. F. de Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSS, D. M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva.** São Paulo: TecArt, 2004. p. 25–43.
- BRAGA, F.M.S. Biologia e pesca de *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae) no reservatório de Volta Grande, Rio Grande (MGSP). **Acta Limnologica Brasileira.** v. 12, p. 1-14, 2000.
- BRESSANI, R. Nutritive value of cowpea. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O. **Cowpea research, production and utilization.** Chichester: John Wiley & Sons, 1985. p. 353-359.
- BROOKS, K. N.; FFOLLIOTT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and the management of watersheds.** Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1991. 392p.
- BROWN, L. R. **Outgrowing the earth: the food security challenge in an age of falling water tables and rising temperatures.** London: Earthscan, 2005. 254 p.
- BRUINSMA, J. **World agriculture: towards 2015/2030.** An FAO perspective. Rome: FAO-Food and Agriculture Organization, 2003. 430p.

- CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ATHAHYDE SOBRINHO, C. Rendimento de grãos de feijão-caupi (cv. BRS Guariba) relacionado a doses de fósforo. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi. 1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; LIMA, M. G. de Ecofisiologia e manejo de plantio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 211-228.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade de grãos verdes de feijão-caupi relacionada à densidade de plantas e à associação com milho em solo de tabuleiro costeiro. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi. 1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; BASTOS, E. A. Rendimento de grãos verdes em variedades melhoradas e tradicionais de feijão caupi na microrregião do litoral piauiense. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 5. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.72-75. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 56).
- CARNEIRO, M do C.; LEMOS, J. B. de; OLIVEIRA, E. G. de; SILVA, A. V. da; SANTOS, E. C. L.; SILVA, A. L. da Desempenho de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) revertida, criadas em tanques-redes com diferentes profundidades e alimentadas com ração de frango e de peixes. In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) *Tilapia aquaculture. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture*. 5. **Proceedings....** Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 2, 2000. p.404-411.
- CARNEIRO, P. C. F.; CYRINO, J. E. P.; CASTAGNOLLI, N. Produção da tilápia vermelha da Flórida em tanques-rede. **Scientia Agrícola**. v.56, n.3, p. 673-679, 1999.
- CARSKY, R. J.; VANLAUWE, B.; LYASSE, O. Cowpea rotation as a resource management technology for cereal-based systems in the savannas of West África. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: IITA-International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.252-266.
- CARVALHO, E. A. de **Avaliação agronômica da disponibilização de nitrogênio à cultura de feijão sob sistema de semeadura direta**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 63p. (Tese de Doutorado).
- CASTAGNOLLI, N. **Piscicultura de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 189p.

- CASTRO, R. S. de **Cultivo de tomate cereja em sistema orgânico irrigado com efluentes da piscicultura**. Mossoró-RN: ESAM, 2003. 68p. (Dissertação de Mestrado).
- CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A. M.; FONSECA, F. A. L. da; ITUASSÚ, D. R.; ROUBACH, R.; ONO, E. A. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, n.5, p.513-516, maio, 2004.
- CHAVES, S. W. P.; SILVA, I. J. O. da. Integração da piscicultura com a agricultura irrigada. **Thesis**. Ano 3, v. 6, 2º semestre, p. 9-17, 2006.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**. v.22, n.63, p. 61-82. 2008.
- CONCEIÇÃO, R. N. de L. Importação de tilápia – impacto no mercado local. In: Seminário Nordeste de Pecuária – PECNORDESTE 2008. 12. **Anais...** Fortaleza: FAEC, 2008. p.102-103.
- CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C. de; BELLINGIERI, P. A.; DALRI, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.4, p.413-417, 2009.
- COSTA, A. P. R.; ANDRADE, D. R. DE; VIDAL JÚNIOR, M. V.; SOUZA, G. Indicadores quantitativos da biologia reprodutiva de fêmeas de piau-vermelho no Rio Paraíba do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.40, n.8, p.789-795, 2005.
- COSTA, F. H. F.; SAMPAIO, A. H.; SAKER-SAMPAIO, S.; LIMA, F. M.; MATIAS, J. F. N.; ROCHA, I. R. C. B.; SANTOS, J. A. R.; ROCHA, P. J. C. Tilapia cage culture in reservoirs in Ceara State, Brazil. . In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) **Tilapia aquaculture**. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. **Proceedings....** Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 2, 2000. p.393-399.
- COSTA-PIERCE, B. A. Challenges facing the expansion of tilapia aquaculture. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J.E. (ed.) **Tilapia aquaculture in the Americas**. Baton Rouge, Louisiana, USA: The World Aquaculture Society, v.2, 2000.p. I-III.
- COULIBALY, O.; LOWENBERG-DEBOER, J. The economics of cowpea in West Africa. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.351-366.

- CRUZ, C. della. Sistemas de piscicultura em arrozales en Indonésia. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.71-73. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAUJO, W. L. Efeito do nitrato e amônio sobre o crescimento e eficiência de utilização do nitrogênio em mandioca. **Bragantia**. v.65, n.3, p. 467-475, 2006.
- CUNNINGHAM, L. **Assessing the contribution of aquaculture to food security: a survey of methodologies**. Rome: FAO, 2005. 25p. (FAO Fisheries Circular. N. 1010)
- DÁVALOS, E. D.; TOMN, G. O.; FREIRE FILHO, F. R. Introdução e avaliação de germoplasma de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) no Estado de Santa Catarina. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 5. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.145-148. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 56).
- DURBOROW, R. M.; CROSBY, D. M.; BRUNSON, M. W. Nitrite in fish ponds. **Southern Regional Aquaculture Cente**. n. 462, June, 1997. 4p.
- DUARTE, D. S. A. **Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. 64p. (Dissertação de Mestrado).
- EDWARDS, P. Philosophy, principles and concepts of integrated agri-aquaculture systems. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook**. Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. p.6-13.
- EL-SAYED, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. **Aquaculture**, v.179, p.149-168, 1999.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciências/FINEP, 2. ed., 1998. 602p.
- FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P. de; DUTRA, L. G. **Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções**. Goiânia: Embrapa-CNPAF-APA, 1996. 40 p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 65).
- FAO. **El riego en América Latina y el Caribe en cifras**. Roma: FAO, 2000. 348p (Informes sobre temas hídricos, 20).
- FAO. **Agriculture, food and water**. Rome: FAO, 2003, 61p.
- FAO. **El estado mundial de la agricultura y la alimentación: pagos a los agricultores por servicios ambientales**. Roma: FAO, 2007b. 236p. (Colección FAO: Agricultura N. 38).

- FAO. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura-2008**. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, 2009b. 218p.
- FAO. **Irrigation**. Rome: FAO, Water Development and Management Unit, s.d. Disponível em [www.fao.org/nr/water/topics\\_irrigation.html](http://www.fao.org/nr/water/topics_irrigation.html). Acesso em: 06 de maio de 2009.
- FAO. **Water at a glance: the relationship between water, agriculture, food security and poverty**. Rome: FAO Water Development and Management Unit, 2007a. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>. Acesso em 06 de maio de 2009.
- FAO. World review of fisheries and aquaculture, parte 1. In: FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2008**. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2009a. p.3–84.
- FAO GLOBEFISH. **Tilapia Market Report** - May 2009. 2009. Disponível em <http://www.globefish.org/dynamisk.php4?id=4723>. Acesso em 19 de junho de 2009.
- FAO/RNE. **Users manual for irrigation with treated wastewater**. Cairo: FAO Regional Office for the Near East, 2003. 62p.
- FELFÖLDY, L.; SZABO, E.; TOTHL, L. **A biológiai vizminősítés**. Budapest: Vizügyi Hidrobiológia Vizdok, 1987. 258p.
- FELIZATTO, M.R.; STARLING, F.L.M.; SOUZA, M.A.A. Reuso de água em piscicultura: análises da possibilidade de aplicação de efluentes de lagoas de estabilização em série. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 37. **Anais...** ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Santa Catarina, 2003. 27p
- FERNANDO, C. H.; HALWART, M. Possibilities for the integration of fish farming into irrigation systems. **Fisheries Management and Ecology**. v.7, p. 45-54, 2000.
- FITZSIMMONS, K. Tilapia aquaculture in Mexico. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J.E. (ed.) **Tilapia aquaculture in the Americas**. Baton Rouge, Louisiana, USA: The World Aquaculture Society, v.2, 2000a. p.171-183.
- FITZSIMMONS, K. Future trends of tilapia aquaculture in the Americas. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J.E. (ed.) **Tilapia aquaculture in the Americas**. Baton Rouge, Louisiana, USA: The World Aquaculture Society, v.2, 2000b. p. 252-264,
- FITZSIMMONS, K. Tilapia: the most important aquaculture species of the 21<sup>st</sup> century. In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) **Tilapia aquaculture. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. Proceedings....** Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 1, 2000c. p.3-8.

- FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, A. S.; GONÇALVES, R. A. B. Uso de águas residuárias na agricultura. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de qualidade inferior – Realidades e Perspectivas**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.194-218.
- FONSECA, A. F. da **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 110p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas)
- FOO, J. Integrated bio-systems: a global perspective. In: WARBURTON, K.; PILLAI-McGARRY, U.; RAMAGE, D. (ed.) *Integrated biosystems for sustainable development/ InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. Proceedings...* Kingston : Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. p.37-53.
- FRASCA- SCORVO, C. M. D.; LOSEKANN, M. E.; SCORVO FILHO, J. D.; CESNIK, R.; QUEIROZ, J. F.; RIBEIRO, M. A. G.; ALVES, J. M. C.; DONADELLI, A.; TURCO, P. H. N. Avaliação do cultivo de tilápias em tanques-rede em uma represa rural: efeito da densidade no desempenho zootécnico. In: **AquaCiência 2008**. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Prefácio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 17-18.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 27-92.
- FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, S. M. de S. e; SITTOLIN, I. M. **BRS Guaribas – nova cultivar de feijão-caupi para a Região Meio-Norte**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 2p. (Embrapa Meio-Norte, Folder).
- FROTA, K. de M. G.; SOARES, R. A. M.; AREAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008 .
- FURTADO, J. F. R. **Piscicultura uma alternativa rentável**. Guaíba: Agropecuária, 1995. 180 p.
- GALLI, L. F.; TORLONI, C. E. C. **Criação de peixes**. São Paulo: Editora Nobel, 1984. 119p.

- GARCES-RESTREPO, C.; VERMILLION, D.; MUÑOZ, G. **Irrigation management transfer: worldwide efforts and results**. Rome: FAO, 2007. 63p. (FAO Water Reports, 32).
- GARCÍA MARÍN, E. **Evaluación de métodos de producción comercial de tilapia, en Tamaulipas, México**. Tamaulipas, México: Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2003. 85p. (Tesis de Maestro en Ciencia Producción Acuícola)
- GASCA-LEYVA, E. La acuicultura y la agricultura trabajando juntas para la sustentabilidad. In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) **Tilapia aquaculture**. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. **Proceedings...** Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 1, 2000. p.305-310.
- GAVINE, F.; GOOLEY, G. Resources, systems and species for Australian integrated agri-aquaculture systems. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook**. Kingston : Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. p.37-62.
- GENERINO, R. C. M. **Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reuso de água: aplicação de um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública/USP, 2006. 180p. (Tese de Doutorado).
- GOLOMBIESKI, J. I.; MARCHEZAN, E; MONTI, M. B.; STORCK, L.; CAMARGO, E. R.; SANTOS, F. M. dos Qualidade da água no consórcio de peixes com arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1263-1268, 2005.
- GOLTERMAN, H .J.; CLYMO, R .S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. London: Blackwell Sci. Pub., 1978. 214p.(IBP Handbook, 8).
- GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R. O. P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.10, p.1927-1937, 2000.
- GONTIJO, V. de P. M.; OLIVEIRA, G. R. de; CARDOSO, E. L.; MATTOS, B. O. de, SANTOS, M. D. dos **Cultivo de tilápias em tanques-rede**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2008. 44p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 86).
- GOOLEY, G. J. **R&D Plan for integrated agri-aquaculture systems 1999-2004**. Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2000. 29p. (RIRDC Publication N° 99/153).

- GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. Integrated agri-aquaculture in Australia: virtual industry or commercial reality? In: WARBURTON, K.; PILLAI-McGARRY, U.; RAMAGE, D. (ed.) Integrated biosystems for sustainable development/ InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. **Proceedings...** Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. p.75-85.
- GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. Introduction to integrated agri-aquaculture systems in Australia. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook**. Kingston : Rural Industries Research and Development Corporation, 2003a. p.1-5.
- GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. Integrated agri-aquaculture systems and water-use sustainability. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook**. Kingston : Rural Industries Research and Development Corporation, 2003b. p.138-142.
- GORSEL, M.; JENSEN, F. B. Nitrite uptake and  $\text{HCO}_3^-$  excretion in the intestine of the european flounder (*Platichthys fleus*). **The Journal of Experimental Biology**, n. 202, p. 2103-2110, 1999.
- GRANGEIRO, T. B.; CASTELLÓN, R. E. R.; ARAÚJO, F. M. M. CASADO de; SILVA, S. M. de S. e; FREIRE, E. de A.; CAJAZEIRAS, J. B.; ANDRADE NETO, M.; GRANGEIRO, M. B.; CAVADA, B. S. Composição bioquímica da semente. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 337-365.
- GREEN, B. W.; RIZKALLA, E. H.; GAMAL, A. R. el Mass production of Nile (*Oreochromis niloticus*) and blue (*O. aureus*) tilapia fry. In: EGNA, H.; MCNAMARA, M.; WEIDNER, N. (ed.). **Annual administrative report, 12. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 1994. p. 31.
- HALL, R.; SCHWARTZ, H. F. Common bean. In: BENNETT, W. F. (ed.) **Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants**. St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society, 1994. p.143-147.
- HAMDY, A. Wastewater as additional resource in arid and semi-arid regions. In: SOARES, A. A.; SATURNINO, H. M. (ed.) **Environment and the water: competitive use and conservation strategies for water and natural resources**. Fortaleza: The Brazilian Association of Irrigation and Drainage-ABID, 2001. p.183-192.



- HAYLOR, G.; BHUTTA, M. S. The role of aquaculture in the sustainable development of irrigated farming systems in Punjab, Pakistan. **Aquaculture Research**, 28, p. 691-705, 1997.
- HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.4, p.75-95, 2002.
- HESPANHOL, I. Conservação e reuso de água na indústria. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de qualidade inferior – Realidades e Perspectivas**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.167-193.
- HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**. v.22, n.63, p.131-158, 2008.
- HOLANDA, J. S. de; AMORIM, J. R. A. de. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (ed) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 1997. p.137-169.
- HUSSAR, G.J.; PARADELA, A. L.; JONAS, C. J.; GOMES, J. P. R. Tratamento da água de escoamento de tanque de piscicultura através de leitos cultivados de vazão subsuperficial: análise da qualidade física e química. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 46-59, 2005.
- HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; SAKAMOTO, Y.; JONAS, T. C.; ABRAMO, A. L. Aplicação da água de escoamento de tanque de piscicultura na irrigação da alface: aspectos nutricionais. **Revista Ecossistema**. v. 27, n.1/2, p. 49-52, 2002.
- IBAMA. **Estatística da Pesca 2006**. Brasil – Grandes regiões e unidades de federação. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2008. 174p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de recuperação automática**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/>. Acesso em 03/03/2009.
- INAZUMI, H.; SINGH, B. B.; SANGINGA, P.C.; MANYONG, V.M.; ADESINA, A.A.; TARAWALI, S. **Adoption and impact of dry-season dual-purpose cowpea in the semiarid zone of Nigeria**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1999. 16p.
- JIMENEZ, B. Potenciales y limitaciones del reúso de agua y de lodos. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de Qualidade Inferior – Realidades e Perspectivas**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.1-23.

- KARAJEH, F.; HAMDY, A. Confronting desertification using treated wastewater in dry areas. In: SOARES, A. A.; SATURNINO, H. M. (ed.) **Environment and the water: competitive use and conservation strategies for water and natural resources**. Fortaleza: The Brazilian Association of Irrigation and Drainage-ABID, 2001. p.201-215.
- KOLAWOLE, G. O.; TIAN, G.; SINGH, B. B. Differential response of cowpea lines to application of P fertilizer. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.319-328.
- KOLKOVSKI, S.; HULATA, G.; SIMON, Y.; SEGEV, R.; KOREN, A. Integration of agri-aquaculture systems – the Israeli experience. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook**. Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. p.14-23.
- KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (ed.) **Methods of seawater analysis**. Weinheim: Verlag Chemie, 1976. p.117-187.
- KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. 3. ed. rev. Jundiaí, SP: Fernando Kubitza, 1999. 97p.
- KUBITZA, F. **Qualidade da água: no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: Fernando Kubitza, 2003. 228p.
- KUBITZA, F. **Tilápia-tecnologia e planejamento na produção comercial**. São Paulo: Desgaspari, 2000. 285 p.
- KUMAR, M. S. Integrated farming for sustainable primary industry: water and nutrient recycling through integrated aquaculture. In: WARBURTON, K.; PILLAI-McGARRY, U.; RAMAGE, D. (ed.) **Integrated biosystems for sustainable development/ InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. Proceedings...** Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. p.54-67.
- LACHI, G. B.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Qualidade da água e composição fitoplanctônica de um viveiro de piscicultura utilizado para fins de pesca esportiva e irrigação. **Boletim do Instituto de Pesca**. v. 34, n.1, p.29-38, 2008.
- LAGE, L. P. A.; ARAÚJO, G. S.; QUEIROZ, R. V. de; FARIAS, W. R. L. Cultivo integrado da tilápia do Nilo e da alface, *Lactuca sativa* em sistema aquapônico. In: **AquaCiência 2008**. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.

- LAGHETTI, G.; PADULOSI, S.; HAMMER, K.; CIFARELLI, S.; PERRINO, P. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) germplasm collection in southern Italy and preliminary evaluation. In: NG, N. Q.; MONTI, L. M. (ed.) **Cowpea genetic resources**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1990. p.46-57.
- LAMBOT, C. Industrial potential of cowpea. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.367-375.
- LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 3. ed., 2004. p. 727-768.
- LÉON, G. S.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução Gheyi, H.R.; König, A.; Ceballos, B.S.O., Damasceno, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p. (Título original: Tratamiento y uso de aguas residuales.)
- LIMA, A. F. Crescimento heterogêneo em tilápias cultivadas em tanques-rede e submetidas a classificações periódicas. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**. v.3, n.3, p.97-100, 2008.
- LIMA, C. B. **Qualidade da água em canais de irrigação com cultivo intensivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*)**. Areia: CCA/UFPB, 2006. 80p. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia).
- LIMA, C. B.; OLIVEIRA, E. G. de; ARAÚJO FILHO, J. M. de; SANTOS, F. J. de S.; PEREIRA, W. E. Qualidade da água em canais de irrigação com cultivo intensivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*). **Revista Ciência Agronômica**. v. 39, n. 4, p. 531-539, 2008.
- LIMA, G.P.B. Crescimento e produtividade do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Caupi, 4. **Resumos...** Teresina: CNPAMN/ EMBRAPA, 1996. p.41-43.
- LIMA-JUNIOR, S. E.; CARBONE, I. B.; GOITEIN, R. Determination of a method for calculation of allometric condition factor of fish. **Acta Scientiarum**. v. 24, n. 2, p. 397-400, 2002.
- LIMA-JUNIOR, S. E.; GOITEIN, R. Fator de condição e ciclo gonadal de fêmeas de *Pimelodus maculatus* (Osteichthyes, Pimelodidae) no rio Piracicaba (SP, Brasil). **Boletim do Instituto de Pesca**. v. 32, n.1, p.87-94, 2006.
- LIN, C.K., JALYEN, K.; MUTHUWAN, V. **Integration of intensive and semi-intensive aquaculture: concept and example**. s.d. Disponível em

- [www/http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/nops/ful\\_rprts/93-54.pdf](http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/nops/ful_rprts/93-54.pdf). Acesso em 19 de junho de 2009.
- LIN, C. K.; YI, Y. Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. **Aquaculture**. Klong Luang-Tailandia: Asian Institute of Technology, n.226, p.57–68, 2003.
- LITI, D.; KEROGO, L.; LIM, C.; MUNGUTI, J. Development and evaluation of the nutritive and economic potential of formulated fish feeds and comparison with locally available feeds for semi-intensive production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In: BURRIGHT, J.; FLEMMING, C.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 22. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2005. p.403-410
- LITTLE, D.; MUIR, J. Integrated agri-aquaculture systems - the Asian experience. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook**. Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. p.24-36.
- LOVSHIN, L. L. Tilapia culture in Brasil. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J.E. (ed.) **Tilapia aquaculture in the Americas**. Baton Rouge, Louisiana, USA: The World Aquaculture Society, v.2, 2000. p.133-140.
- LOUDON, T. L. Future uses and “disposal” of low-quality water and wastewater. In: SOARES, A. A.; SATURNINO, H. M. (ed.) **Environment and the water: competitive use and conservation strategies for water and natural resources**. Fortaleza: The Brazilian Association of Irrigation and Drainage-ABID, 2001. p.173-182.
- LUU, L. T. El sistema VAC en Viet Nam del Norte. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO. 2003. p.29-32. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. London: Scient. Public., n. 36, 1978. 121p.
- MALLASEN, M.; BARROS, H. P. de Interferência de uma piscicultura em tanques-rede na concentração de nutrientes na água. In: **AquaCiência 2008**. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.
- MACIEL JÚNIOR, A. **Efeitos da temperatura no desempenho e na morfometria de tilápia, *Oreochromis niloticus*, de linhagem tailandesa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 51p. (Tese de Doutorado).
- MARQUES, M. O.; CORAUCCI FILHO, B.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T.; LIMA, V. L. A. de; ANDRADE NETO, C. O. de; MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A.;

- MARQUES, T. A.; BELLINGIERI, P. H.; HAANDEL, A. van. Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R.K.X. (coord.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003a. p.61-118. (Projeto PROSAB).
- MARQUES, N. R.; HAYASHI, C.; SOARES, C. M.; SOARES, T. Níveis diários de arraçoamento para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis Niloticus*, L.) cultivados em baixas temperaturas. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 24, jan./dez, p. 97-104, 2003b.
- MARTINEZ-ESPINOSA, M.; BARG, U. Aquaculture and managment of freshwater enviroments, with emphasis on Latim America. In PULLIN, R.S.W.; ROSENTHAL, H.; MACLEAN, J. L. (ed). **Enviromental and aquaculture in developing countries**. Manila, Philippines: ICLARM Conf. Proc. 31, 1993. p. 42-59.
- MATOS, A. C.; BOLL, M. G.; TESTOLIN, G. Qualidade da água de cultivo de peixes e a legislação. In: **Simpósio Brasileiro de Aqüicultura**, 11., 2000. Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Simbraq, 2000. CD – ROM.
- MEDEIROS, F. C. **Tanque-rede: mais tecnologia e lucro na piscicultura**. 1ª ed. Cuiabá-MT: Centro América, 2002. 110p.
- MEDEIROS, J. F. de; GHEYI, H. R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (ed) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 1997. p.239-287.
- MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, C. Efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo em suas propriedades físicas e na produtividade de grãos de feijão caupi. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água, 12., 1998. **Resumos Expandidos**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFC, 1998. p.112-113.
- MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J.; SALVIANO, A. A. C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 229-242.
- MELO, F. de B.; CAVALCANTE, A.C.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; BASTOS, E. A. **Levantamento detalhado dos solos da área da Embrapa Meio-Norte/UEP de Parnaíba**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 26p. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 89).

- MENDONÇA, F. C.; LIMA, V. L. A. de; KATO, M. T.; CORAUCCI FILHO, B.; SILVEIRA, S. B.; BASTOS, R. K. X.; HAANDEL, A. van. Aspectos técnicos relacionados aos sistemas de irrigação com esgotos sanitários tratados. In: BASTOS, R.K.X. (coord.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p.119-156. (Projeto PROSAB).
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1978. 593p.
- MEINZEN-DICK, R.; BAKKER, M. **Water rights and multiple water uses: framework and application to Kirindi Oya irrigation system, Sri Lanka**. Washington: International Food Policy Research Institute/ Environment and Production Technology Division, 2000. 30p. (EPTD Discussion Paper n. 59)
- MEINZEN-DICK, R. S.; van der HOEK, W. Multiple uses of water in irrigated areas. **Journal Irrigation and Drainage Systems**, v.15, n.2, p.93-98, 2001.
- MIN, K.; HU, B. Piscicultura y cultivo de terraplenes en China. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.25-28. (FAO Documento Técnico de Pesca N° 407).
- MIRANDA, F. R. de; TAVARES, R. de C.; LIMA, R. N. de; CRISÓSTOMO, L. A. **Uso de efluentes da carcinicultura de águas interiores na irrigação de arroz e melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 23p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).
- MIRANDA, L. N. de; AZEVEDO, J. A. de; MIRANDA, J. C. C. de; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.4, p.703-710, 2000.
- MIRANDA, P.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J. da. Competição de linhagens de caupi de grãos verdes. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 5. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.195-198. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 56).
- MORAES, A. M. de **Avaliação zootécnica e econômica do cultivo de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, considerando diferentes rações comerciais**. Florianópolis: Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 51p. (Tese de Doutorado).
- MOREIRA, H. L. M.; VARGAS, L.; RIBEIRO, R. P.; ZIMMERMANN, S. **Fundamentos da Moderna Aqüicultura**. Canoas: ULBRA, 2001. 200p.

- MULEBA, N.; EZUMAH, C. Optimizing cultural practices for cowpea in África. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O. **Cowpea research, production and utilization**. Chichester: John Wiley & Sons, 1985. p. 289-295.
- MYAKA, F.A.; KABISSA, J.C.B.; MYAKA, D.F.; MLIGO. J. K. Farmer participatory evaluation of newly developed components of cowpea and cotton intercropping technology. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.329-337.
- NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de-água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**. v.22, n.2, p.174-177, 2004.
- NEVES, P. R.; RIBEIRO, R. P.; VARGAS, L.; NATALI, M. R. M.; MAEHANA, K. R.; MARENGONI, N. G. Evaluation of the performance of two strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in mixed raising systems. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 51, n. 3, p. 531-538, 2008.
- NEWMAN, J. R.; POPMA, T. J. Maximum voluntary feed intake and growth of Nile tilapia fry as a function of water temperature. In: MCNAMARA, M.; EGNA, H.; GOETZE, B.; HERBISON, B.; CLAIR, D. (ed.). **Annual Administrative Report, 13. Pond dynamics/aquaculture CRSP.**, Corvallis, Oregon: Oregon State University, 1995. p.26.
- NICOLI, C. M. L.; CRAVO, M. da S.; HOMMA, A. K. O.; FERREIRA, C. A. P. Análise econômica de sistemas de produção de feijão-caupi e mandioca no Nordeste paraense. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi.1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- NOBLE, R.; LIGHTFOOT, C. Trabajando con nuevos participantes en agro-acuicultura integrada. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.13-16. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407)
- NUSCH E. A. Compararison of diferent methods for chlorophyll and phaepigment determination. **Archiv für Hydrobiologie–Beiheft Ergebnisse der Limnologie**, n. 14, p.14-36, 1988.
- OLIVEIRA, A. M. B. de M. S. de; CONTE, L.; CYRINO, J. E. P. Produção de characiformes autóctones. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D.

- M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 217–238.
- OLIVEIRA, E. G.; COSTA, F. H. F. Uso de águas residuárias na aquicultura. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de qualidade inferior – Realidades e Perspectivas**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.219-231,
- OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. de S. Piscicultura em canais de irrigação. In: Seminário Nordeste de Pecuária – PECNORDESTE 2008. 12. **Anais...** Fortaleza: FAEC, 2008. p.77-85.
- OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. de S.; PEREIRA, A. M. L.; LIMA, C. B. **Produção de tilápia: mercado, espécie, biologia e recria**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 12p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 45).
- OLIVEIRA, H. do V. de; BEZERRA NETO, F.; AZEVEDO, C. M. da S. B.; LIMA, C. B.; GURGEL, G. C. S. Alteração nas características físico-química de um solo cultivado com pimentão, efluente de piscicultura, fosfato natural e esterco bovino. **Caatinga**. v.21, n.5, p.157-163, 2008.
- OLIVEIRA, I. P.; DANTAS, J. P. **Sintomas de deficiências nutricionais e recomendações de adubação para o caupi**. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1984. 23p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 8).
- OLIVEIRA, I. P. de; DANTAS, J. P. Nutrição mineral do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (ED.) **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA/Embrapa, 1988. p. 407-430.
- OLUFAJO, O. O.; SINGH, B. B. Advances in cowpea cropping systems research. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.267-277.
- ONGLEY, E.D. **Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas**. Tradução Gheyi, H.R.; Damaceno, F.A.V.; Brito, L.T.de L. Campina Grande: UFPB, 2001, 92p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 55).
- OSTRENSKY, A; BOEGER, W. **Piscicultura: fundamentos e técnicas de manejo**. Guaíba: Agropecuária, 1998. 211p.
- PADULOSI, S.; NG, N. Q. Wild *Vigna* species in Africa: their collection and potential utilization. In: NG, N. Q.; MONTI, L. M. (ed.) **Cowpea genetic resources**. Idaban, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1990. p.58-77.



- PARRY, M. M.; KATO, M. do S. A.; CARVALHO, J. G. de Macronutrientes em caupi cultivado sob duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.3, p.236–242, 2008.
- PEARCE, D.W.; WARFORD, J.J. **World without end: economics, environment, and sustainable development**. Oxford: Oxford University Press, 1993. 440 p.
- PELEGRIN, R. de; MERCANTE, F. M.; MIYUKI, I.; OTSUBO, N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, n. 1, p. 219-226, 2009.
- PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**. v. 31, n.1, p.81-88, 2005.
- PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutrição de peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 25–43.
- PINHO, J. L. N. de; TÁVORA, F. J. A. F.; GONÇALVES, J. A. Aspectos fisiológicos. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 191-210.
- POLLOCK, L. J. **Integration of aquaculture within irrigation systems: a poverty-focused approach**. Stirling: Stirling University/Institute of Aquaculture, 2005. 413p. (Ph. D. Thesis in the Faculty of Natural Sciences of the University of Stirling)
- POPMA, T.; MASSER, M. **Tilapia: life history and biology**. Mississippi: SRAC - Southern Regional Aquaculture Center, 1999. (Publication n. 283).
- PORTO, E. R.; ARAÚJO, O. de; ARAÚJO, G. G. L. de; AMORIM, M. C. C.; PAULINO, R. V.; MATOS, A. N. B. **Sistema de produção integrado usando efluentes da dessalinização**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2004. 22p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 187).
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. La L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. v.22, n.63, p.43-60. 2008.
- PULLIN, R. Agro-acuicultura integrada y medio ambiente. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.17-18. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407)
- RACHIE, K. O. Introduction. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O. (ed.) **Cowpea research, production and utilization**. Chichester: John Wiley & Sons, 1985. p. 21-28.

- RANA, K. J. **Supplement on aquaculture: guidelines on the collection of structural aquaculture statistics**. Rome: FAO, 1997. 56p. (FAO Statistical Development Series. N. 5b.)
- REDDING, T.A.; MIDLEN, A.B. **Fish production in irrigation canals**. A review. Rome, FAO, 1990. 111 p. (FAO, Fisheries Technical Paper. N° 317).
- REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.
- RESENDE, A. V. de **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29p. (Documentos/ Embrapa Cerrados, n°57).
- RESENDE, E. K.; GRAEF, E. W.; ZANIDONI FILHO, E.; PAIXÃO, A. M.; STORTE FILHO, A. Avaliação do crescimento de jaraquis (*Semaprochilodus* spp.), em açudes de iguapé de terra firme nos arredores de Manaus, Amazônia. **Acta Amazônica**. v. 15, n 1-2, março-junho, p.19-36, 1985.
- ROCHA, M. A. da; RIBEIRO, E. L. de A.; MIZUBUTI, I. Y. Comparação entre os fatores de condição de Fulton e alométrico em curimatá (*Prochilodus lineatus*) criados em dois ambientes. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**. v. 5 (Supl. 1), p. 459-460, 1997.
- ROCHA, M de M.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE, F. N.; GOMES, R. L. F. **Avaliação agronômica de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 16p. (Embrapa Meio-Norte, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 67)
- ROTTA, M. A.; CAMPECHE, D. F. B.; PORTO, E. R.; PAULINO, R. V. Criação de tilápia em água salobra no semi-árido brasileiro: avaliação econômica da unidade demonstrativa de São José do Seridó-RN. In: **AquaCiência 2008**. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.
- RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; NEVES, M. C. P. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p.280-335.
- SABBAG, O. J; ROZALES, R. dos R; TARSITANA, M.A.A; SILVEIRA, A.N. Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativista em Ilha Solteira/SP. **Custos e @gronegócio on line** , v. 3, n. 2, p.86-100, 2007.

- SAGRILO, E.; TORRES, F. E.; ABREU, F. B.; QUEIROZ, L. S.; MORAES, S. C. F. C.; DAMASCENO, J. E.; BERTONCELLO, V.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M de M. Comportamento de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto em ambientes de Mato Grosso do Sul. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi.1. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 6. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 121). CD Rom.
- SAMPAIO, J. M. C.; BRAGA, L. G. T. Cultivo de tilápia em tanques-rede na barragem do Ribeirão de Saloméa – Floresta Azul – Bahia. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal.** v.6, n.2, p. 42-52 , 2005.
- SAMPAIO, S. C.; DAMASCENO, S.; FAZOLO, A. Uso de águas residuárias de agroindústrias suinocultura. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de Qualidade Inferior – Realidades e Perspectivas.** Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.232-267.
- SANGINGA, N.; LYASSE, O.; SINGH, B. B. Phosphorus use efficiency and nitrogen balance of cowpea breeding lines in a low P soil of the derived savanna zone in West Africa. **Plant and Soil.** v.220, n.1-2, p.119-128, 2000.
- SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K. Características fisiológicas do feijoeiro em várzeas tropicais afetadas por doses e manejo de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia.** v. 32, n. 1, p. 23-31, 2008.
- SANTOS, C. A. F; BARROS, G. A; A; SANTOS, I. C. C. N dos; FERRAZ, M. G. S. Comportamento agrônomo e qualidade culinária de feijão-caupi no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira.** v. 26, n. 3, p.404-408, 2008a.
- SANTOS, D. R.; CASSOL, P. C; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. (ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Metrópole, 2 ed. rev. e atual., 2008b. p. 101-111.
- SANTOS, J. W. dos; GHEYI, H. R. **Estatística experimental aplicada.** Campina Grande: Editora Gráfica Marcone Ltda, 2003. 213p. (Tópicos de Engenharia Agrícola e Agrônoma)
- SAS. **Statistical analysis system.** Release 6.11 TS level 0040. Windows version 4.10. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 1996.
- SCARSBROOK, C. E. Nitrogen availability. In: BARTHOLOMEW, W. V.; CLARK, F. E. (ed.) **Soil nitrogen.** Madison: American Society of Agronomy, Inc., 1965. p.481-502.
- SCHMIDT, W. **Agricultura irrigada e o licenciamento ambiental.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 2007. 126p. (Tese de Doutorado).

- SCHMITTOU, H.R. **Produção de peixes em alta densidade em tanques-rede de pequeno volume**. Campinas: Silvio Romero Coelho, Mogiana Alimentos S.A., ASA - Associação Americana de Soja. Tradução de Eduardo Ono. 1997. 78p.
- SCHRECK, C. B.; GIANNICO, G. R.; FEIST, G. W.; FERNÁNDEZ-PEREZ, M.; CONTRERAS-SÁNCHEZ, W. M.; LÓPEZ-RAMOS, I.; HERNÁNDEZ-VIDAL, U. Continuation of a selective breeding program for Nile tilapia to provide quality broodstock for Central America. In: BURRIGHT, J.; FLEMMING, C.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 22. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2005. p.264-269.
- SIDDIQUI, A. Q.; HOWLADER, M. S.; ADAM, A. E. Effects of water exchange on *Oreochromis niloticus* (L.) growth and water quality in outdoor concrete tanks. **Aquaculture**. v.95, 1-2, p. 67-74, 1991.
- SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.
- SILVA, P. C.; KRONKA, S. do N.; SIPAÚBA TAVARES, L. H.; SOUZA, V. L. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) em diferentes densidades e trocas de água em “raceway”. **Acta Scientiarum**. v.24, n.4, p.935-941, 2002.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Limnologia aplicada à aquicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 70p.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Qualidade da água em aquicultura. **Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuicola**. Publicación Anual del Departamento de Recursos Hidrobiológicos Universidad de Nariño, ano I, v. 1, p.1-14, 2004.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; BOYD, C. E. Macrophyte biofilter for treating effluent from aquaculture. In: BURRIGHT, J.; FLEMMING, C.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 22. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2005. p.195-199.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; YOSHIDA, C. E.; BRAGA, F. M. de S. Effects of continuous water exchange on the limnology of tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture tanks. In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) Tilapia aquaculture. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. **Proceedings....** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 1, 2000. p. 279 – 287.
- SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestria ecosystems. **Environmental Pollution**, v. 100, p. 176-196, 1999.

- SOARES, A. A.; BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. A. de Aspectos técnicos da irrigação com águas de qualidade inferior. In: **Workshop Uso e Reuso de Águas de qualidade inferior – Realidades e Perspectivas**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.347-373.
- SONODA, D. Y. **Análise econômica de sistemas alternativos de produção de tilápia em tanques rede para diferentes mercados**. Piracicaba-SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 2002. 77p. (Dissertação de Mestrado)
- SOUZA, J. T.de; van HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F. de. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, n.3, p.260-265, 2005.
- SOUZA, R. M. R.; AGOSTINHO, C. A.; SARTORI, L. P.; NOGUEIRA, M. G.; OLIVEIRA, F. A.; ARGENTIM, D.; OLIVEIRA, L. C. Variação das concentrações de nitrogênio e fósforo da água durante a criação de tilápias em tanques-rede. In: **AquaCiência 2008**. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.
- SOUZA, R. F. de; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; AVILA, F. W. de Nutrição fosfatada e rendimento do feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 30, n. 4, p. 656-664, 2006.
- STICKNEY, R. R. Status of research on tilapia. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J.E. (ed.) **Tilapia aquaculture in the Americas**. Baton Rouge, Louisiana, USA: The World Aquaculture Society, v.2, 2000. p. 21-33.
- TAMASSIA, S.T.J. Modelo Alto Vale do Itajaí de Piscicultura Integrada – 3. Avaliação preliminar do impacto ambiental no corpo receptor associado ao período de cultivo: nitrato e fosfato. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 11., 2000, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Simbraq, 2000. CD ROM.
- TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; GUPTA, S. C.; TABO, R.; HARRIS, F.; NOKOE, S.; FERNÁNDEZ-RIVERA, S.; BATIONO, A.; MANYONG, V.M.; MAKINDE, K.; ODION, E. C. Cowpea as a key factor for a new approach to integrated crop–livestock systems research in the dry savannas of West Africa. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.233-251.
- TARDIVO, T. F.; RIBEIRO, R. P.; ALEXANDRE FILHO, L.; FORNARI, D. C.; VARGAS, L.; ALEXANDRE, A. A. da C.; CANDIOTTO, F. B.; RIZZATO, G. S. Desempenho de diferentes linhagens de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) no período inicial de

- engorda em tanques-rede. In: **AquaCiência** 2008. Maringá: AQUABIO-Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. CD Rom.
- TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L.; MORAES, F. R.; KRONKA, S. N. Fator de condição e relação hepato e esplenossomática em teleósteos de água doce naturalmente parasitados. **Acta Scientiarum**. v. 22, n.2, 533-537, 2000.
- THAKUR, D. P.; YI, Y.; DIANA, J. S.; LIN, C. K. Co-culture of lotus and hybrid catfish to recycle waste from intensive feeding. In: BURRIGHT, J.; FLEMMING, C.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 22. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2005. p.1-10.
- THIPATHI, S. D.; SHARMA, B. K. Cultivo integrado peces-hortaliza em Índia. In: FAO/ICLARM/IIRR (ed.). **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.38-40. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- TOLEDO, J. J.; CASTRO, J. G. D.; SANTOS, K. F.; FARIAS, R. A.; HACON, S.; SMERMANN, W. Avaliação do impacto ambiental causado por efluentes de viveiros da estação de piscicultura de Alta Floresta – Mato Grosso. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v.2, n.1, p.13-31, 2003.
- TOMASSO, J.R. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. **Reviews in Fisheries Science**. v.2, p.291-314, 1994.
- TOMN, G. O.; FREIRE FILHO, F. R.; DÁVALOS, E. D.; SILVA, C. E. P. da; SILVA, T. M.; FONTANELI, R. S. Comportamento de genótipos de feijão caupi “enramador marron” em Passo Fundo, RS. Reunião Nacional de Feijão-Caupi. 5. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.175-178. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 56).
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**. v.22, n.63, p. 7-16. 2008.
- UN-Water. Coping with water scarcity: a strategic issue and priority for system-wide action. In: UN-Water. Thematic initiatives. Rome: FAO, 2006. 12p. Disponível em [www.worldwaterday07.org](http://www.worldwaterday07.org)., acesso em 08 de maio de 2009.
- UN-Water. Coping with water scarcity: challenge of the twenty – first century. In: UN-Water. World water day 2007. Rome: FAO, 2007. 29p. Disponível em [www.worldwaterday07.org](http://www.worldwaterday07.org)., acesso em 08 de maio de 2009.
- UNEP-United Nations Environment Programme. **Water security and ecosystem services: the critical connection**. Nairobi, Kenya: UNEP, 2009. 56p. Disponível em [http://www.unep.org/Themes/Freshwater/PDF/The\\_critical\\_connection.pdf](http://www.unep.org/Themes/Freshwater/PDF/The_critical_connection.pdf), acesso em 11 de junho de 2009.

- URBINATI, E. C.; CARNEIRO, P. C. F. Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSI, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 171–193.
- van der MHEEN, H. Observations on the integration of aquaculture and small-scale irrigation. **FAO Aquaculture Newsletter**, n.22, p.10-15, 1999.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Riego localizado**. Roma: FAO, 1986. 203p.
- VIEIRA, M. J; WAMBEKE, J.V. Planificación del uso de la tierra enfocada al suelo y el agua: la experiencia de la FAO en América Latina y el Caribe. **Anais...** Reunión Brasileña de Manejo y Conservación de Suelos y Agua, 14. Cuiabá: . Sociedad Brasileña de Ciencia del Suelo/Universidade Federal de Mato Grosso, 2002, 18p.
- von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais, 2.ed., 1996. 243p.
- WARBURTON, K.; PILLAI-McGARRY, U. Integrated biosystems and sustainable development - Executive Summary of InFoRM 2000. In: WARBURTON, K.; PILLAI-McGARRY, U.; RAMAGE, D. (ed.) Integrated biosystems for sustainable development/ InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. **Proceedings...** Kingston : Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. p. ix-xvi.
- WESTERS, H. **Fish hatchery management**. 2. ed. Bethesda: American Fisheries Society, 2001. p. 31-90.
- WOOD, C. W.; MESO, M. B.; VEVERICA, K.; KARANJA, N. Use of pond effluent for irrigation in an integrated crop/aquaculture system. In: MCELWEE, K.; BURKE, D.; NILES, M.; CUMMINGS, X.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 17. Pond dynamics/aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2000. p.105-107.
- WOOD, C. W.; MESO, M. B.; VEVERICA, K.; KARANJA, N. Use of pond effluent for irrigation in an integrated crop/aquaculture system. In: GUPTA, A.; MCELWEE, K.; BURKE, D.; BURRIGHT, J.; CUMMINGS, X.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 18. Pond dynamics/Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2001. p.69-78.

- WORBY, E. Consideraciones socioculturales al introducir una nueva técnica de agro-acuicultura integrada. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.3-8. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F. de; SANTOS, V. B dos; CAMPOS, F. L. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**. v.38, n.7, p.2037-2041, 2008.
- YANG, H.; FANG, Y.; CHEN, Z. Sistemas integrados de cultivo de peces en pastizales en China. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO. 2003. p.21-24. (FAO Documento Técnico de Pesca Nº 407).
- YI, Y.; MON, A. A.; DIANA, J. S.; LIN, C. K. Optimization of nitrogen fertilization regime in fertilized Nile tilapia ponds with supplemental feed. In: BURRIGHT, J.; FLEMMING, C.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 22. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2005a. p.146-161.
- YI, Y.; PHUONG, N. T.; DIANA, J. S.; LIN, C. K. Integrated cage-cum-pond culture systems with high-valued climbing perch (*Anabas testudineus*) in cages suspended in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) ponds. In: BURRIGHT, J.; FLEMMING, C.; EGNA, H. (ed.). **Annual Technical Report, 22. Aquaculture CRSP**. Corvallis, Oregon: Oregon State University, 2005b. p.115-131.
- ZANIBONI FILHO, E. O desenvolvimento da piscicultura brasileira sem a deterioração da qualidade de água. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 57, n. 1, p.3-9, 1997.
- ZIMMERMANN, S. O bom desempenho das Chitraladas no Brasil. **Panorama da Aquicultura**. v. 10, n.60, p.15-19, 2000.
- ZIMMERMANN, S., FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI E.C.; FRACALOSS, D.M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 239–266.